

 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS Y CALIDAD DE LAS AGUAS
	Q-5017001-H
	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
	OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

TRABAJOS DE CONSULTORÍA Y ASISTENCIA		
PRESUPUESTO DEL ORGANISMO	CLAVE: 2001-PH-02	REF. CRONOLÓGICA: 12/2001

TIPO:
ASISTENCIA TÉCNICA
TÍTULO:
La evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta: comparación de métodos

PRESUPUESTO DE CONTRATA:
PRESUPUESTO DE ADJUDICACIÓN:

SERVICIO:
OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA
DIRECTOR:
MIGUEL ÁNGEL GARCÍA VERA
CONSULTOR:
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)

TOMO:
TOMO ÚNICO EJEMPLAR 1
CONTENIDO:
MEMORIA Y ANEJOS

NÚMERO ARCHIVO O P H:

OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA
TRABAJOS DE CONSULTORÍA Y ASISTENCIA

CLAVE: 2001-PH-02

TÍTULO: La evapotranspiración en los márgenes de la laguna de
Gallocanta: comparación de métodos

Zaragoza, a 31 de enero de 2002

El Director de los trabajos

El Consultor:

Fdo.: Miguel Ángel García Vera

Fdo.: Antonio Martínez Cob
CSIC

Examinado:
El Jefe de la O P H

Fdo.: Antonio Coch Flotats

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Estructura del informe	1
1.2. Justificación y antecedentes	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Situación geográfica.....	3
2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.....	5
3. ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE GALLOCANTA	7
3.1. Equipo acumulador de datos <i>GALLOCA1</i>	7
3.1.1. Variables registradas en el equipo <i>GALLOCA1</i>	9
3.2. Equipo acumulador de datos <i>GALLOCA2</i>	12
3.2.1. Variables registradas en el equipo <i>GALLOCA2</i>	13
4. METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	17
4.1. La ecuación del balance de energía	17
4.2. Medida de la radiación neta y el flujo de calor hacia el suelo	20
4.3. Método de la renovación de la superficie.....	20
4.4. Método de covarianza de torbellinos.....	25
4.5. Método de FAO Penman-Monteith	26
4.6. Análisis estadísticos.....	28
5. RESULTADOS	31
5.1. Caracterización meteorológica de la laguna de Gallocanta durante el período de estudio	31
5.1.1. Precipitación.....	31
5.1.2. Temperatura del aire y del suelo	33
5.1.3. Humedad relativa y déficit de presión de vapor.....	38
5.1.4. Radiación solar global, radiación neta y flujo de calor en el suelo	39
5.1.5. Velocidad y dirección del viento	40
5.2. Calibración y validación del método de la renovación de la superficie.....	42

5.2.1. Calibración y validación preliminar: comparación con el método de covarianza de torbellinos.....	42
5.2.2. Comparación de las estimas obtenidas con el método de renovación de la superficie a distintas alturas e intervalos de tiempo	46
5.2.3. Comparación del método de la renovación de la superficie con el método de Penman-Monteith	58
5.3. Variación diaria y estacional de los componentes del balance de energía	61
5.4. Cuantificación diaria y estacional de la evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta	65
6. CONCLUSIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEJO 1.....	73
ANEJO 2.....	83
ANEJO 3.....	93
ANEJO 4.....	95
ANEJO 5.....	101
ANEJO 6.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Localización geográfica de la estación meteorológica automática de Gallocanta. 5
- Figura 2. Esquema de planta de la estación meteorológica de Gallocanta. *M1*, mástil 1. *M2*, mástil 2. *D2*, acumulador de datos *GALLOCA2*. *Vg*, vientos de *M1*. *Vp*, vientos de *M2*. *TH*, sonda de temperatura y humedad relativa. *Rs*, piranómetro. *Rn*, radiómetro neto. *V*, monitor de viento. *Tp*, termopar *TCBR* de hilo fino. *F1*, *F2*, sensores de suelo. *P*, pluviómetro. *A*, tanque clase 'A' con evaporímetro *E*. Unidades de medida, m..... 8
- Figura 3. Esquema de las rampas de temperatura del aire con amplitud $a > 0$ y $a < 0$ para condiciones atmosféricas inestables y estables, respectivamente. La frecuencia inversa de rampas ($1/s$), en segundos, es la suma del período de reposo (s) y la longitud de la rampa (l). 21
- Figura 4. Precipitación mensual total en las estaciones de Gallocanta y en 3 estaciones pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología, Las Cuerlas 'Gasolinera' (código 9997U), Tornos (código 9998) y Bello 'DGA' (9998J)..... 33
- Figura 5. Evolución diaria de la temperatura del aire (sonda *Vaisala*) y del suelo (sonda *TCAV*) durante 2001..... 35
- Figura 6. Valores mensuales de temperatura del aire registradas en Gallocanta (sonda *Vaisala*) y 3 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología, Las Cuerlas 'Gasolinera' (código 9997U), Tornos (código 9998) y Bello 'DGA' (código 9998J). Marzo de 2000 a agosto de 2001. 37
- Figura 7. Evolución del déficit de presión de vapor (media diaria) a lo largo de 2001. 39
- Figura 8. Rosas de los vientos para Gallocanta y distintos rangos de viento..... 41
- Figura 9. Evolución diaria del flujo de calor sensible medido (covarianza de torbellinos, H_{EC}) y estimado (renovación de la superficie, H_{SR}) para el intervalo de tiempo largo y tres alturas de medida ($r = 0.50$ s for $z = 1.4$ m; $r = 0.75$ s para $z = 1.1$ y 0.9 m). 43
- Figura 10. Estadísticos del análisis de errores de los valores de H_{SR} obtenidos para el subconjunto de calibración ($n = 215$) en función de la altura de medida y del intervalo de tiempo. *IA*, índice de similitud; *RMSE*, error cuadrático medio. Intervalo de tiempo largo: 0.50 s para $z = 1.4$ m; 0.75 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. Intervalo de tiempo corto: 0.25 s para $z = 1.4$ m; 0.375 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. 44
- Figura 11. Estadísticos del análisis de errores de los valores de H_{SR} obtenidos para el subconjunto de validación ($n = 219$) en función de la altura de medida y del intervalo de tiempo. *IA*, índice de similitud; *RMSE*, error cuadrático medio. Intervalo de tiempo largo: 0.50 s para $z = 1.4$ m; 0.75 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. Intervalo de tiempo corto: 0.25 s para $z = 1.4$ m; 0.375 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. 44
- Figura 12. Índices de similitud (*IA*) para los valores de LE_{SR} obtenidos para el subconjunto de validación ($n = 219$) en función de la altura de medida y del intervalo de tiempo. Intervalo de tiempo largo: 0.50 s para $z = 1.4$ m; 0.75 s para

$z = 1.1$ y 0.9 m. Intervalo de tiempo corto: 0.25 s para $z = 1.4$ m; 0.375 s para $z = 1.1$ y 0.9 m..... 45

Figura 13. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas semihorarias originales de H_{sr} ($\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 48

Figura 14. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas diarias originales de H_{sr} ($\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 49

Figura 15. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas semihorarias calibradas de H_{sr} (Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 51

Figura 16. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas diarias calibradas de H_{sr} (Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 52

Figura 17. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas semihorarias originales de LE_{sr} (H_{sr} calculada con $\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 53

Figura 18. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas diarias originales de LE_{sr} (H_{sr} calculada con $\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$

- ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 54
- Figura 19. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas semihorarias calibradas de LE_{sr} (a partir de estimas de H_{sr} calibradas, Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 55
- Figura 20. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas diarias calibradas de LE_{sr} (a partir de estimas de H_{sr} calibradas, Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$). 56
- Figura 21. Promedios, en los cinco períodos analizados, de las estimas, semihorarias (S) o diarias (D), de LE_{sr} obtenidas para dos alturas de medida ($z1$ y $z2$) y dos intervalos de tiempo ($r1$ y $r2$) (Cuadro 15) a partir de las estimas originales o calibradas de H_{sr} 57
- Figura 22. Registros diarios de precipitación acumulada ($AcumPrec$) y estimas de evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta: ET_{sr} , estimas con el método de renovación de la superficie; ET_0 , estimas con el método FAO Penman-Monteith; ET_{kc} , estimas de evaporación de suelo desnudo según la metodología FAO. 60
- Figura 23. Registros diarios de precipitación acumulada ($AcumPrec$) y cocientes diarios entre las estimas de evapotranspiración con los métodos de la renovación de la superficie y FAO Penman Monteith (razón ET_{sr}/ET_0). 61
- Figura 24. Cocientes diarios entre las estimas de los flujos de calor sensible (H_{sr}) y calor latente (LE_{sr}) y los valores medidos de la diferencia entre radiación neta y flujo de calor en el suelo ($Rn-G$). 62
- Figura 25. Componentes del balance de energía de dos días típicos con relativa disponibilidad de agua en el suelo. Rn , radiación neta. G , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} , flujo de calor latente. H_{sr} , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} y H_{sr} , estimados con el método de la renovación de la superficie. 64
- Figura 26. Componentes del balance de energía de dos días típicos con escasa disponibilidad de agua en el suelo. Rn , radiación neta. G , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} , flujo de calor latente. H_{sr} , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} y H_{sr} , estimados con el método de la renovación de la superficie. 65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Alturas de medida (z) de la temperatura de alta frecuencia (termopares <i>TCBR</i>) en distintos períodos.	22
Cuadro 2. Número de valores (m) de temperatura de alta frecuencia (termopares <i>TCBR</i>) medidos en intervalos semihorarios con una frecuencia (f), en distintos períodos.	23
Cuadro 3. Intervalos de tiempo (r) usados para determinar diferencias de temperatura de alta frecuencia (termopares <i>TCBR</i>) en distintos períodos.....	24
Cuadro 4. Distribución de intensidades de precipitación registradas en los períodos semihorarios del período de estudio.....	31
Cuadro 5. Distribución de intensidades de precipitación diaria registradas en el período de estudio.....	32
Cuadro 6. Precipitación total mensual (P_{mes}) y nº de días con precipitación igual o mayor que 0.2 mm (<i>ND0</i>) y 1.0 mm (<i>ND1</i>) en el período de estudio.	32
Cuadro 7. Análisis de regresión simple ($y = a + b x$) y de errores entre medias (semihorarias y diarias) y máximas y mínimas diarias de temperatura del aire (registrada con sonda <i>Vaisala</i> y dos termopares <i>TCBR</i>) y del suelo (sonda <i>TCAV</i>). n , número de valores; R^2 , coeficiente de determinación; a , ordenada en el origen; b , pendiente de regresión; $RMSE$, error cuadrático medio; IA , índice de similitud.	34
Cuadro 8. Valores mensuales de la temperatura del aire registrada con la sonda <i>Vaisala</i> : medias diarias (Tmd), medias de las máximas (Txm) y mínimas (Tnm) y valores máximos ($TxAb$) y mínimos absolutos ($TnAb$).	36
Cuadro 9. Número de días y semihoras con heladas en el período de estudio.....	37
Cuadro 10. Valores mensuales de la humedad relativa del aire. $HRmd$, medias diarias. $HRmx$, medias de las máximas. $HRmn$, medias de las mínimas.....	38
Cuadro 11. Valores medios mensuales de las medias diarias de la radiación solar global ($Rsol$), la radiación neta ($Rnet$) y el flujo de calor en el suelo (G).	40
Cuadro 12. Valores medios mensuales de la velocidad media diaria del viento ($VVmed$) y rachas máximas ($VVMx$) registradas en cada mes en Gallocanta. .	40
Cuadro 13. Regresiones lineales simples entre H_{EC} (variable dependiente) y H_{SR} (variable independiente) calculadas para el subconjunto de calibración ($n = 215$), para diferentes intervalos de tiempo y alturas de medida.	44
Cuadro 14. Coeficientes de ponderación α utilizados en distintos períodos en función de la altura de medida z y el intervalo de tiempo r	46
Cuadro 15. Períodos en los que se compararon las estimas de H_{sr} y LE_{sr} , obtenidas para distintas alturas de medida (z) e intervalos de tiempo (r).	47
Cuadro 16. Evapotranspiración acumulada en los márgenes de la laguna de Gallocanta estimados con los métodos de la renovación de la superficie (ET_{sr}) y	

FAO Penman-Monteith (ET_0), así como evaporación acumulada de suelo desnudo estimada según la metodología FAO (ET_{kc}).	59
Cuadro 17. Valores medios decenales de evapotranspiración diaria (mm día^{-1}) en los márgenes de la laguna de Gallocanta estimados con el método de la renovación de la superficie en el período de estudio.	66

RESUMEN

El presente estudio analiza una metodología que permita la evaluación de uno de los componentes del balance hídrico que presenta mayor incertidumbre en la laguna de Gallocanta. Este componente es la evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta, incluyendo el vaso de la laguna que no se encuentra inundado. La aplicación de esta metodología persigue encontrar una relación entre la tasa de evapotranspiración de esos márgenes y la profundidad del nivel freático en el entorno de la laguna.

La metodología aplicada parte de información meteorológica registrada en una estación meteorológica automática situada en la laguna de Gallocanta. Se registran de forma continua: temperatura y humedad relativa del aire (a 2.0 m de altura), radiación solar global incidente, radiación neta, flujo de calor hacia el suelo, temperatura de suelo (0.03-0.06 m de profundidad), velocidad y dirección del viento (2.0 m de altura), precipitación, evaporación de lámina libre de agua (salada y dulce) y temperatura del aire medida con dos termopares *TCBR* de hilo fino.

El método para la evaluación de la evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta ha sido el método de renovación de superficie (Spano et al., 1997, 2000). Consiste en el registro del flujo de calor sensible con los termopares de tipo *TCBR*. A partir de la determinación de este flujo se calcula el flujo de calor latente mediante el cierre de la ecuación del balance de energía y este flujo permite determinar el valor de la evapotranspiración.

En el presente informe se presentan los detalles de la instrumentación empleada y los resultados para el período de 16 de febrero de 2000 a 30 de noviembre de 2001. Estos resultados indican que la estación se encuentra en perfecto funcionamiento, registrándose una serie muy completa, exhaustiva y precisa de una gran cantidad de variables meteorológicas.

El método de la renovación de la superficie se ha comparado y calibrado con el método de covarianza de torbellinos durante el período 25 de julio a 4 de agosto de 2000. Asimismo, la calidad de esta calibración se ha evaluado comparando las estimas de flujo de calor sensible (H_{sr}) y calor latente (LE_{sr}) obtenidas con el método de la renovación de la superficie a distintas alturas de medida e intervalos de tiempo r [ecuación (5)] en distintos períodos de tiempo. Finalmente, la calidad del método se evaluó cualitativamente mediante su comparación con el método *FAO* Penman-Monteith, que estima la evapotranspiración de referencia (máximo valor de evapotranspiración que tendría una pradera de gramíneas pratenses sin falta de agua, libres de enfermedades y que cubren totalmente el suelo), y las estimas de evapotranspiración de suelo obtenidas según la metodología *FAO*.

Un problema de índole desconocida que alteró el registro de datos de temperatura del aire de alta frecuencia (termopares *TCBR*) sólo permitió obtener estimas fiables de evapotranspiración durante los períodos 16 de febrero a 27 de noviembre de 2000 y 21 de marzo a 22 de julio de 2001. En dichos períodos, la evapotranspiración total fue de 740 y 365 mm, respectivamente. Se considera que, en el peor de los casos, estos valores estarían sobredimensionados en un 20 % aproximadamente. Esto haría que se estime que la evapotranspiración que

realmente se produjo en los márgenes de la laguna de Gallocanta esté en un rango de 592 a 740 mm, en el período de 16 de febrero a 27 de noviembre de 2000, y de 292 a 365 mm, en el período 21 de marzo a 22 de julio de 2001.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estructura del informe

El presente informe se estructura en seis secciones, un listado de referencias bibliográficas, 6 Anejos y un CD-ROM adjunto. La sección 1 constituye la introducción del estudio, con una breve justificación del interés del mismo y de los antecedentes que existen del problema a analizar, la enumeración de los objetivos y una breve reseña de la situación geográfica de la zona de estudio.

En la sección 2 se describe más detalladamente la localización geográfica de la estación. Se presentan algunos datos relacionados con la topografía de la laguna y se describen brevemente los suelos y la vegetación del área circundante.

La sección 3 presenta una descripción de la estación meteorológica automática utilizada en este estudio e instalada en la laguna de Gallocanta. Esta descripción es un resumen de la que se puede encontrar en Martínez Cob (2000).

La sección 4 describe la metodología de medida de la evaporación con el método de la renovación de la superficie. También se describen el método de covarianza de torbellinos, utilizado para evaluar y validar el anterior método, el método *FAO* Penman-Monteith, de cálculo de la evapotranspiración de referencia, y el cálculo de la evapotranspiración de suelo desnudo según la metodología *FAO*.

La sección 5 presenta los resultados registrados en el período 16 de febrero de 2000 a 30 de noviembre de 2001. Se presenta una primera caracterización de la meteorología de la zona de estudio. Después, el método de la renovación de la superficie se evalúa cuantitativa y cualitativamente y, finalmente, se presentan las estimas de la evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta para el período de estudio.

Finalmente, la sección 6 presenta las conclusiones del presente trabajo.

El informe presenta al final del mismo una lista de referencias bibliográficas, así como una serie de Anejos, que incluyen un registro de incidencias ocurridas durante el período de estudio y una descripción de los programas utilizados en los equipos automáticos registradores de datos y de los ficheros ASCII obtenidos durante el período de estudio. El CD-ROM adjunto a este informe incluye todos los ficheros ASCII y EXCEL con los datos y cálculos realizados.

1.2. Justificación y antecedentes

La laguna de Gallocanta es el humedal más importante, en el ámbito internacional, de toda la cuenca del Ebro. A lo largo de los últimos años se han declarado diversas figuras de protección en la zona. Entre ellas se pueden citar las siguientes: a) inclusión en la Lista del Convenio *Ramsar*; b) declaración como Zona de Especial Protección para las Aves (*ZEPA*); c) declaración como Reserva Nacional de Caza; y d) inclusión en la Red de Espacios Naturales Protegidos de Aragón (*RENPA*).

Actualmente, se está a la espera de la realización de un Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (*PORN*) por parte de la Diputación General de Aragón a partir del cual se definirá la figura de protección definitiva de la laguna. La realización de este *PORN* precisa de estudios previos de carácter hidrológico, dirigidos y financiados por la Confederación Hidrográfica del Ebro (*CHE*), que permitan definir las características hidrogeológicas de la laguna.

La conservación del humedal debe sustentarse en una gestión sostenible de los recursos hídricos, cuya base fundamental es el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de la laguna. Dicha gestión debe velar por la cantidad y calidad de agua existente en la laguna y debe analizar la posibilidad de explotación de las tierras de cultivo próximas a la laguna. En consecuencia, el conocimiento detallado de las características hidrogeológicas de la laguna y su entorno resulta de la mayor importancia.

El trabajo más reciente sobre la evolución hidrológica de la laguna y sobre sus implicaciones en los acuíferos que le rodean fue realizado por la *CHE* en 1997 (García Vera, 1997). Aplicando balances hidrológicos en la laguna durante el período 1974-1990, se estimó que las salidas por evaporación en lámina libre son de $9.3 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ y las producidas por evaporación capilar son $5.8 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$. García Vera (1997) apunta la gran incertidumbre que rodea, no obstante, a estas cifras y señala la urgente necesidad de realizar campañas de medidas experimentales en campo para tratar de obtener datos más reales y fiables de la evaporación, tanto en lámina libre como capilar.

La medida de la evaporación capilar resulta bastante compleja. Por ello, se decidió aproximar la magnitud de esta variable mediante la estimación de la evapotranspiración en los márgenes de la laguna. Este término engloba la evaporación de agua desde la superficie del suelo y la transpiración de la escasa vegetación que está presente en los alrededores inmediatos de la laguna. La evaporación de agua desde la superficie del suelo predomina sobre la transpiración a causa de que una gran proporción de la superficie que rodea a la laguna carece de vegetación. El agua de dicha evaporación proviene de la precipitación, escasa en la zona, y del ascenso capilar desde capas más profundas del suelo.

En febrero de 2000 se instaló una estación meteorológica automática en la laguna de Gallocanta con el fin de: 1) iniciar una serie histórica de datos meteorológicos diversos de forma exhaustiva y precisa; y 2) realizar medidas de temperatura de aire con una frecuencia de tiempo muy pequeña con el objetivo de aplicar un método de estimación de la evapotranspiración en los alrededores de la laguna, el método de la renovación de la superficie (Martínez Cob, 2000). En este trabajo se informa de los resultados obtenidos a lo largo del período febrero de 2000 a noviembre de 2001 en dicha estación. Se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas sobre la bondad del método de la renovación de la superficie, así como las estimas diarias y acumuladas de evaporación capilar en los alrededores de la laguna de Gallocanta.

1.3. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

1. Recopilación exhaustiva y precisa de un conjunto de variables meteorológicas que describan las condiciones meteorológicas de la zona durante el período de estudio.
2. Evaluación del método de la renovación de la superficie (*SR*) de estimación de la evapotranspiración (flujo de calor latente) mediante: a) su comparación con datos medidos con el método de covarianza de torbellinos en períodos seleccionados; b) la comparación de las estimas obtenidas con el método *SR* a diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo r [ecuación (5)]; y c) su comparación con las estimas obtenidas con el método *FAO Penman-Monteith*, las cuales representarían el límite máximo de evaporación posible en la zona.
3. Estudio micrometeorológico exhaustivo con el fin de analizar detalladamente la distribución diaria de los distintos componentes del balance de energía en los márgenes de la laguna de Gallocanta.
4. Cuantificación diaria y estacional de la evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta.

1.4. Situación geográfica

Este estudio se realizó en el sector noroeste de la laguna de Gallocanta, en el término municipal de Gallocanta (Zaragoza). La estación meteorológica automática se colocó en un punto cuyas coordenadas geográficas son 40°59'09" de latitud N y 1°30'17" de longitud O respecto al meridiano de Greenwich.

2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el sector noroeste de la laguna de Gallocanta, en el paraje conocido como Las Suertes, dentro del término municipal de Gallocanta (Zaragoza). Dicho paraje se encuentra en la estrecha lengua de tierra que penetra en la laguna y separa el lagunazo pequeño del lagunazo grande o central, que forma el cuerpo principal de la laguna (Figura 1). En este lugar se ubicó una estación meteorológica automática que se describe en la sección 3. En el paraje de Las Suertes hay fundamentalmente suelo desnudo con alguna vegetación natural, escasa, de porte bajo. Además, en las cercanías de la estación también hay alguna parcela cultivada (cereales de invierno). La estación se encuentra al borde de la pequeña pendiente que conduce a la playa del lagunazo pequeño. La distancia entre la estación y el comienzo de la playa es de unos 50 m en la dirección del lagunazo pequeño y de otros 50 m en la dirección del lagunazo central (Figura 1).

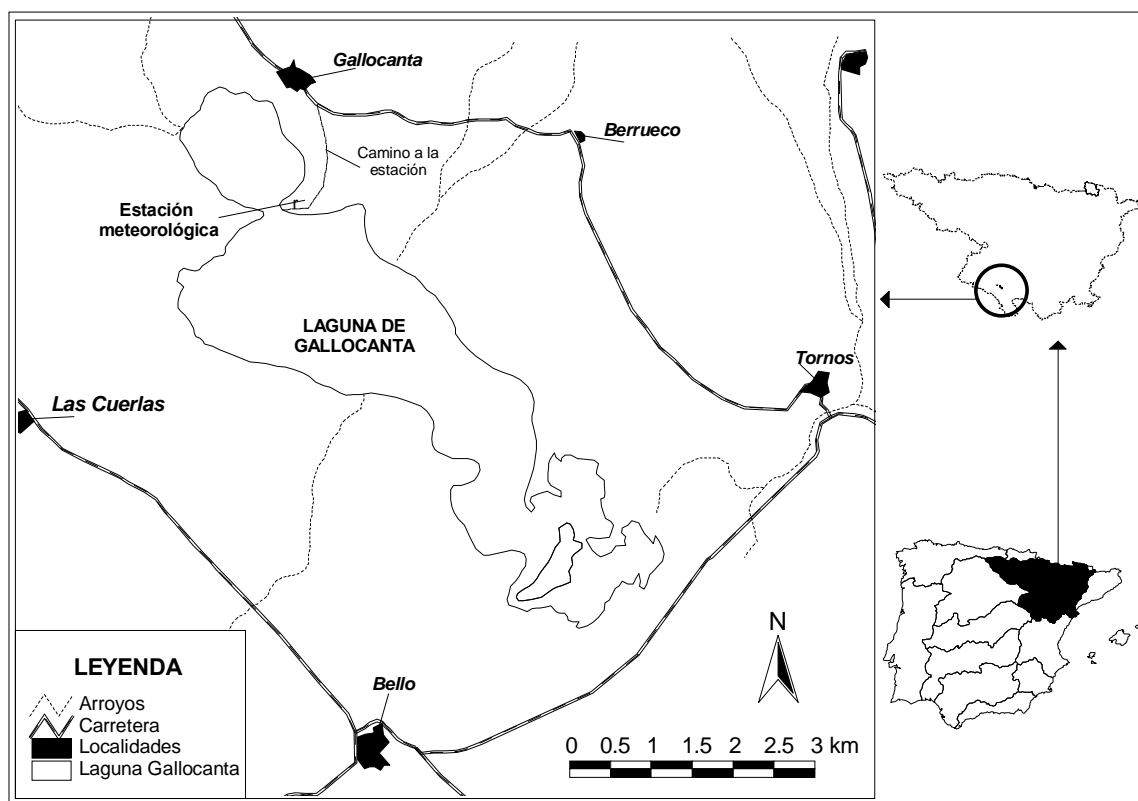


Figura 1. Localización geográfica de la estación meteorológica automática de Gallocanta.

Las coordenadas geográficas del punto donde se ubica la estación son 40°59'09" de latitud N y 1°30'17" de longitud O r respecto al meridiano de Greenwich. La elevación sobre el nivel del mar es de 1000 m. La elevación del punto más bajo de la laguna de Gallocanta es de 991.2 m según estudios recientes realizados por la CHE, por lo que el desnivel entre este punto y el lugar donde se ubica la estación es de 8.8 m.

En la zona litoral de la laguna de Gallocanta, se pueden diferenciar tres tipos básicos de suelos (García Prieto, 1993):

- a) Playas limo-arenosas con pequeños cantos dispersos, de color pardo claro y que generalmente no contienen sales. Los encharcamientos frecuentes, el carácter limoso del sedimento, su gran contenido en materia orgánica y la presencia esporádica de sales originan fangos negros fétidos, muy comunes en el sector norte y oeste de la laguna.
- b) Suelos limo-arcillosos duros, muy comunes en la llanura sudoeste de la laguna. Son acumulaciones de arcillas y limos, de color pardo-oscuro a gris. Estos suelos son comunes en las áreas más deprimidas y llanas de la playa, próximos a la laguna y están sujetos a inundaciones y desecaciones frecuentes.
- c) Costras y suelos salinos, desarrollados en los extremos noroeste y sudeste de la laguna. Se asocian a zonas muy llanas y próximas a la laguna, aunque no se relacionan con áreas de playa sino con amplias extensiones de pendiente mínima próximas a la orilla. Sufren inundaciones y desecaciones continuas de periodicidad anual. En épocas de sequía forman "salitrales" en los que la sal dominante es la halita.

En los alrededores de la laguna, la vegetación natural más común consiste en pastizales y formaciones de matorral denso. También existen diversas parcelas de cultivo. Los cultivos de secano predominantes son la cebada, el trigo, otros cereales y cultivos forrajeros. Entre los cultivos de regadío predominan la patata y la alfalfa (García Vera, 1997).

El estudio descrito en este trabajo comprende el período 16 de febrero de 2000 a 30 de noviembre de 2001.

3. ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE GALLOCANTA

La estación meteorológica automática instalada en la laguna de Gallocanta se puso en marcha el 15 de febrero de 2000 a las 17:00 (hora del meridiano de Greenwich, *GMT*). Se encuentra en un recinto vallado de 10 m x 5 m. La valla es de alambre galvanizado de 2.15 m de alto más dos filas de alambre de espinos, con una altura total de alrededor de 2.40 m. En el interior del recinto se encuentran los distintos componentes de la estación (Figura 2). La estación consta de dos equipos acumuladores de datos (denominados *GALLOCA1* y *GALLOCA2*, respectivamente) y de una serie de sensores meteorológicos conectados a dichos equipos. Martínez Cob (2000) describe detalladamente todos estos componentes y esta sección presenta un resumen de dicha descripción. El Anejo 1 contiene el registro de incidencias ocurridas en la estación de Gallocanta desde su instalación y allí pueden encontrarse otros detalles no mencionados en esta parte del informe.

3.1. Equipo acumulador de datos *GALLOCA1*

Los siguientes sensores están conectados al equipo acumulador de datos *GALLOCA1*:

- a) Un pluviómetro de cangilones basculantes (marca *Environmental Measurements*, modelo *ARG100*). Medida de la precipitación. La boca del pluviómetro se encuentra a 1.5 m de altura sobre el suelo.
- b) Una sonda de temperatura y humedad relativa del aire (marca *Vaisala*, modelo *50Y*). Colocada a 2.0 m de altura sobre el suelo.
- c) Un piranómetro de silicio (marca *Kipp and Zonen*, modelo *SP-Lite*). Medida de la radiación solar global incidente. Colocado a 1.9 m de altura sobre el suelo.
- d) Un radiómetro neto (marca *REBS*, modelo *Q-7*). Medida de la radiación neta. Colocado a 1.5 m de altura sobre el suelo.
- e) Dos placas de flujo de calor en el suelo (marca *Hukseflux*, modelo *HFP01*). Colocadas a 0.08 m de profundidad y a 0.9 m de distancia entre sí.
- f) Una sonda de temperatura promedio de suelo (marca *Campbell*, modelo *TCAV*). Para corregir las lecturas de las placas de flujo de calor en el suelo; véase sección 4.2. La sonda consta de 4 termopares, dos de los cuales se han enterrado horizontalmente a 0.03 y 0.06 m de profundidad, por encima de la placa 1 de flujo de calor en el suelo; los otros dos termopares se han enterrado en la misma forma, por encima de la placa 2 de flujo de calor en el suelo.
- g) Un termistor de referencia (marca *Campbell*, modelo *10TCRT*). Necesario para realizar las lecturas con la sonda de temperatura promedio de suelo. Colocado en el interior de la caja de protección de la intemperie del equipo acumulador de datos.
- h) Un monitor de viento (marca *RM Young*, modelo *O5103*). Medida de la velocidad y dirección del viento. Colocado a 2.0 m de altura sobre el suelo.

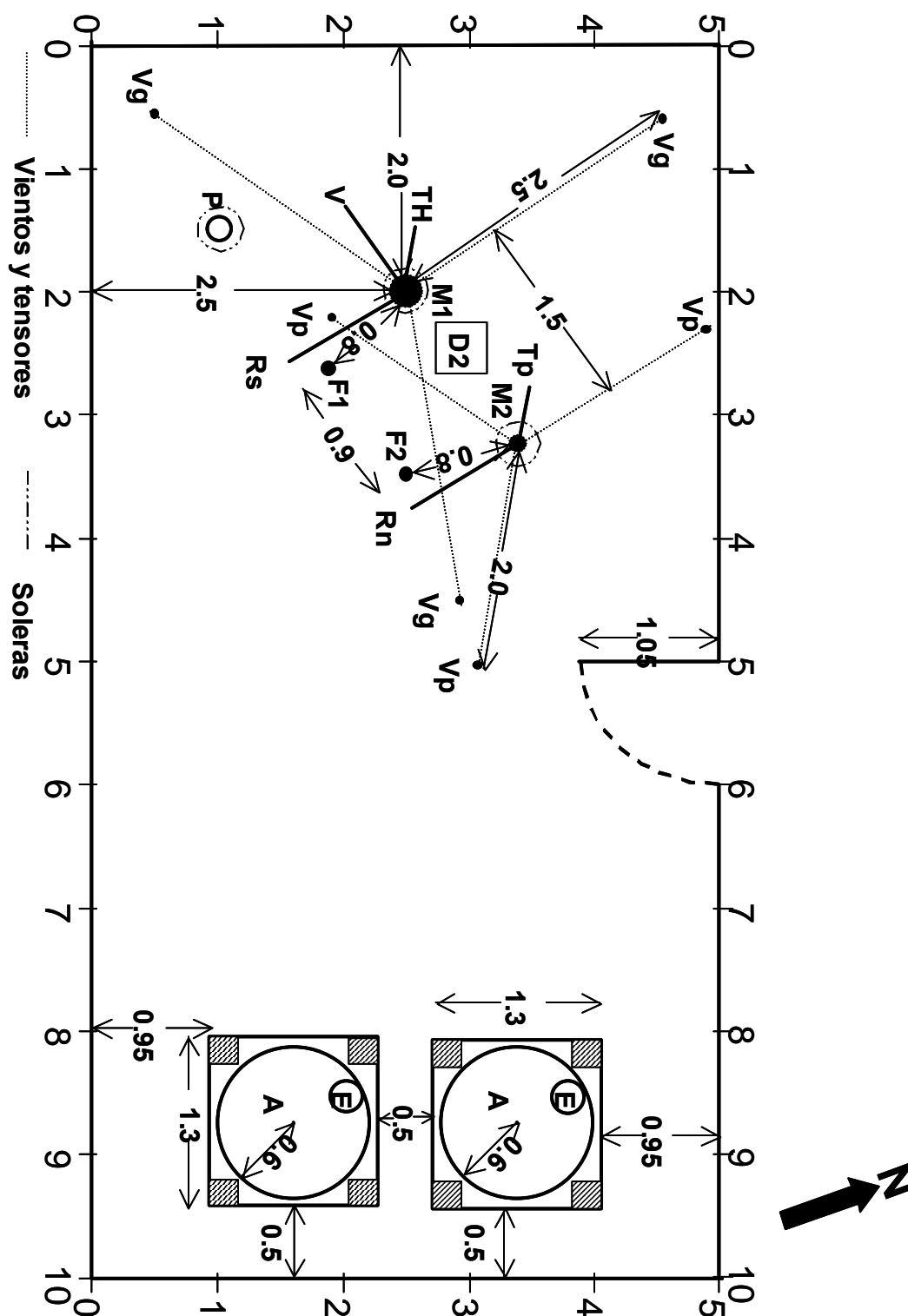


Figura 2. Esquema de planta de la estación meteorológica de Gallocanta. *M1*, mástil 1. *M2*, mástil 2. *D2*, acumulador de datos GALLOCA2. *Vg*, vientos de *M1*. *Vp*, vientos de *M2*. *TH*, sonda de temperatura y humedad relativa. *Rs*, piranómetro. *Rn*, radiómetro neto. *V*, monitor de viento. *Tp*, termopar TCBR de hilo fino. *F1*, *F2*, sensores de suelo. *P*, pluviómetro. *A*, tanque clase 'A' con evaporímetro *E*. Unidades de medida, m.

- i) Dos evaporímetros (marca *NovaLynx*, modelo 255-100). Medida de la evaporación de lámina libre de agua dulce y salada, respectivamente. Colocados en el interior de sus respectivos tanques de evaporación clase 'A'.
- j) Un módem GSM (marca *Wavecom*, modelo G-900). Para la transmisión de datos mediante telefonía móvil (número 677-498462). Colocado en el interior de la caja de protección de la intemperie del equipo acumulador de datos *GALLOCA1*.

El Anejo 2 lista el programa que se utiliza actualmente para la lectura, procesamiento y almacenamiento de los datos registrados por el equipo acumulador de datos *GALLOCA1*. Este programa es ligeramente distinto al descrito por Martínez Cob (2000) ya que se han producido los siguientes cambios:

- a) Conexión de la sonda de temperatura de suelo a partir del 10 de mayo de 2000 (11:00 GMT); anteriormente estuvo conectada al equipo acumulador de datos *GALLOCA2*.
- b) Registro de los valores máximos de algunas variables y el histograma de frecuencias de la dirección del viento a partir del 4 de abril de 2000.
- c) Registro de la desviación estándar de la velocidad del viento a partir del 20 de marzo de 2001.

3.1.1. Variables registradas en el equipo *GALLOCA1*.

En consecuencia, las variables que se registran actualmente con el acumulador de datos *GALLOCA1* son las siguientes:

Cada 30 minutos

- Código de identificación. En este caso, 170.
- Año en curso.
- Día del año. 1 indica 1 de enero, 32 indica 1 de febrero y así sucesivamente hasta 366 ó 365 (31 de diciembre), según que el año sea o no bisiesto, respectivamente.
- Hora y minutos. El formato es hhmm. Es decir que, por ejemplo, un valor de 530 indica que se trata de las 5:30 GMT.
- Precipitación total, mm.
- Temperatura media del aire (sonda *Vaisala*) a 2.0 m de altura, °C.
- Humedad relativa media del aire (datos originales)¹ a 2.0 m de altura, %.
- Humedad relativa media del aire (limitada a 100 %)¹ a 2.0 m de altura, %.
- Media de la presión de vapor real, kPa. Calculada por el equipo *GALLOCA1* a partir de la temperatura y humedad relativa del aire como se describe en Martínez Cob (2000).

¹ Este sensor puede registrar ocasionalmente valores por encima de 100%. Desviaciones de más de un 5-6 % por encima de ese valor indican un mal funcionamiento del instrumento.

- Media del déficit de presión de vapor de agua, kPa. Valor calculado por el equipo *GALLOCA1* a partir de los valores registrados de temperatura y humedad relativa del aire (Martínez Cob, 2000).
- Flujo medio de calor hacia el suelo (placa 1) a 0.08 m de profundidad, $W\ m^{-2}$.
- Flujo medio de calor hacia el suelo (placa 2) a 0.08 m de profundidad, $W\ m^{-2}$.
- Radiación solar global incidente media, $W\ m^{-2}$.
- Radiación neta media, $W\ m^{-2}$.
- Velocidad media del viento a 2.0 m de altura, $m\ s^{-1}$.
- Dirección del viento (vector medio), grados respecto al norte.
- Desviación estándar de la velocidad del viento, $m\ s^{-1}$. A partir del 5 de abril de 2001 (10:30 GMT). Desde el 20 de marzo (10:40 GMT) al 5 de abril (10:10 GMT) de 2001 se registró cada 10 minutos.
- Distancia media de la lámina libre de agua en el tanque clase 'A' número 1 (agua salada) respecto al borde del mismo, mm.
- Distancia media de la lámina libre de agua en el tanque clase 'A' número 2 (agua dulce) respecto al borde del mismo, mm.
- Media de la temperatura promedio del suelo entre 0.03 y 0.06 m de profundidad, $^{\circ}C$. A partir del 10 de mayo de 2000 (11:00 GMT); los datos anteriores a esta fecha se encuentran en los ficheros correspondientes al acumulador de datos *GALLOCA2* (Anejo 5).

Cada 24 horas

- Código de identificación. En este caso, 270.
- Año en curso.
- Día del año.
- Hora y minutos. En este caso, 2400.
- Precipitación total diaria, mm.
- Temperatura media diaria del aire (sonda *Vaisala*) a 2.0 m de altura, $^{\circ}C$.
- Temperatura máxima absoluta del aire (sonda *Vaisala*) a 2.0 m de altura, $^{\circ}C$.
- Hora a la que se produjo la temperatura máxima, hhmm. Por ejemplo, un valor de 1317 indica que la temperatura máxima se produjo a las 13:17 GMT.
- Temperatura mínima absoluta del aire (sonda *Vaisala*) a 2.0 m de altura, $^{\circ}C$.
- Hora a la que se produjo la temperatura mínima, hhmm. Por ejemplo, un valor de 17 indica que la temperatura mínima se produjo a las 00:17 GMT.
- Humedad relativa media diaria del aire (limitada a 100 %) a 2.0 m de altura, %.
- Humedad relativa máxima absoluta del aire (limitada a 100 %) a 2.0 m de altura, %.

- Hora a la que se produjo la humedad relativa máxima, hhmm.
- Humedad relativa mínima absoluta del aire (limitada a 100 %) a 2.0 m de altura, %.
- Hora a la que se produjo la humedad relativa mínima, hhmm.
- Presión de vapor real media diaria, kPa.
- Déficit de presión medio diario, kPa.
- Flujo medio diario de calor en el suelo (placa 1) a 0.08 m de profundidad, $W\ m^{-2}$.
- Máximo absoluto del flujo de calor en el suelo (placa 1) a 0.08 m de profundidad, $W\ m^{-2}$. A partir del 4 de abril de 2000.
- Hora a la que se registró el máximo absoluto del flujo de calor en el suelo (placa 1). A partir del 4 de abril de 2000.
- Flujo medio diario de calor en el suelo (placa 2) a 0.08 m de profundidad, $W\ m^{-2}$.
- Máximo absoluto del flujo de calor en el suelo (placa 2) a 0.08 m de profundidad, $W\ m^{-2}$. A partir del 4 de abril de 2000.
- Hora a la que se registró el máximo absoluto del flujo de calor en el suelo (placa 2). A partir del 4 de abril de 2000.
- Radiación solar incidente global media diaria, $W\ m^{-2}$.
- Máximo absoluto de la radiación solar global incidente, $W\ m^{-2}$. A partir del 4 de abril de 2000.
- Hora a la que se registró el máximo absoluto de la radiación solar global incidente. A partir del 4 de abril de 2000.
- Radiación neta media diaria, $W\ m^{-2}$.
- Máximo absoluto de la radiación neta, $W\ m^{-2}$. A partir del 4 de abril de 2000.
- Hora a la que se registró el máximo absoluto de la radiación neta. A partir del 4 de abril de 2000.
- Velocidad máxima absoluta del viento a 2.0 m de altura, $m\ s^{-1}$.
- Hora a la que se produjo la velocidad máxima del viento, hhmm.
- Velocidad media del viento a 2.0 m de altura, $m\ s^{-1}$.
- Dirección del viento (vector medio), grados respecto al norte.
- Frecuencia relativa de la dirección norte noreste (*NNE*) del viento (11.25 - 33.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección noreste (*NE*) del viento (33.75 - 56.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección este noreste (*ENE*) del viento (56.25 - 78.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.

- Frecuencia relativa de la dirección este (*E*) del viento (78.75 - 101.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección este sudeste (*ESE*) del viento (101.25 - 123.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección sudeste (*SE*) del viento (123.75 - 146.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección sur sudeste (*SSE*) del viento (146.25 - 168.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección sur (*S*) del viento (168.75 - 191.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección sur sudoeste (*SSO*) del viento (191.25 - 213.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección sudoeste (*SO*) del viento (213.75 - 236.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección oeste sudoeste (*OSO*) del viento (236.25 - 258.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección oeste (*O*) del viento (258.75 - 281.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección oeste noroeste (*ONO*) del viento (281.25 - 303.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección noroeste (*NO*) del viento (303.75 - 326.25°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Frecuencia relativa de la dirección norte noroeste (*NNO*) del viento (326.25 - 348.75°), tanto por uno. A partir del 5 de abril de 2000.
- Tensión de la batería a las 24:00 *GMT*, volt.
- Media diaria de la temperatura promedio del suelo entre 0.03 y 0.06 m de profundidad, °C. A partir del 10 de mayo de 2000; los datos anteriores a esta fecha se encuentran en los ficheros correspondientes al acumulador de datos *GALLOCA2* (Anejo 5).

El Anejo 3 lista todos los ficheros de datos en formato *ASCII* (separados por comas) que se han registrado en el equipo acumulador de datos *GALLOCA1*. Además, estos datos se han importado en plantillas de cálculo (ficheros *EXCEL*, Microsoft Office 2000). Todos los ficheros se incluyen en el *CD-ROM* adjunto a este informe.

3.2. Equipo acumulador de datos *GALLOCA2*

Los siguientes sensores están conectados al equipo acumulador de datos *GALLOCA1*:

- a) Dos termopares de hilo fino (marca *Campbell*, modelo *TCBR*). Medida de la temperatura del aire en intervalos de tiempo muy cortos (alta frecuencia).

Colocados actualmente a 1.4 y 0.9 m de altura sobre el suelo, respectivamente. Véase la sección 4.3 para conocer las variaciones en la altura de medida con estos sensores que se han producido desde la instalación de la estación.

- b) Un módem *GSM* (marca *Wavecom*, modelo *G-900*) Para la transmisión de datos mediante telefonía móvil (número 677-498465). Colocado en el interior de la caja de protección de la intemperie del equipo acumulador de datos *GALLOCA2*.

Hay que recordar que la sonda de temperatura promedio de suelo *TCAV* estuvo conectada a este equipo hasta el 10 de mayo de 2000 cuando se conectó al equipo acumulador de datos *GALLOCA1*. Del 15 de febrero al 6 de marzo (7:30), hubo algunos errores de programación en el equipo acumulador de datos *GALLOCA2* (Anejo 5) que condujeron a que no fuesen fiables las estimas semihorarias de la evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta, aunque sí lo fueron las estimas diarias. Por eso, en las secciones 4.3 y 5.2.2 este período no se incluyó en las evaluaciones del método de la renovación de la superficie pero sí se incluyó en la sección 5.2.3.

Además, durante los períodos de 31 de mayo (12:00 *GMT*) a 8 de junio (9:00 *GMT*) de 2000 y de 17 de julio (15:30 *GMT*) a 4 de agosto (10:30 *GMT*) de 2000, se instaló y conectó un equipo de covarianza de torbellinos. Durante este trabajo, este equipo constó de los siguientes sensores:

- a) Anemómetro sónico unidimensional (marca *Campbell*, modelo *CA27*). Medida de las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento.
- b) Termopar de hilo fino (marca *Campbell*, modelo *127*). Medida de las fluctuaciones de la temperatura de alta frecuencia. Este sensor está diseñado para su uso conjunto con el anemómetro sónico unidimensional.

Durante estos dos períodos sólo se dejó un termopar *TCBR* (el número 2) conectado al acumulador de datos *GALLOCA2* debido a las limitaciones impuestas por la frecuencia requerida de lecturas de los sensores y la velocidad de procesamiento del acumulador de datos. La programación del equipo acumulador de datos *GALLOCA2* durante estos dos períodos de funcionamiento del equipo de covarianza de torbellinos ha sido algo diferente a la utilizada en el resto de períodos. El Anejo 4 lista el programa actual que se utiliza en el acumulador de datos *GALLOCA2*. El Anejo 5 resume las diferentes versiones de este programa utilizadas anteriormente. Por último, hay que señalar que durante el período 25 de julio (12:00 *GMT*) a 4 de agosto (10:30 *GMT*) de 2000 se instaló provisionalmente un tercer equipo acumulador de datos (*GALLOCA3*) al que se conectaron dos termopares *TCBR* adicionales (números 3 y 4) y en el que se utilizó la versión 1.3 del programa *GALLOCA2* (Anejo 5). El Anejo 6 lista los ficheros *ASCII* (separados por comas) que contienen los datos registrados en el acumulador de datos *GALLOCA2*. Estos datos también se importaron a ficheros en formato *EXCEL* (Microsoft Office 2000).

3.2.1. Variables registradas en el equipo *GALLOCA2*.

En consecuencia, las variables que se registran actualmente con el acumulador de datos *GALLOCA2* son las siguientes:

Cada 30 minutos

- Código de identificación. En este caso, 180.
- Año en curso.
- Día del año.
- Hora y minutos.
- Temperatura media del aire (termopar *TCBR* nº 1), °C.
- Temperatura media del aire (termopar *TCBR* nº 2), °C.
- Desviación estándar de la temperatura del aire (termopar *TCBR* nº 1), °C.
- Desviación estándar de la temperatura del aire (termopar *TCBR* nº 2), °C.
- Suma del cuadrado de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.75 s antes (termopar *TCBR* nº 1).
- Suma del cubo de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.75 s antes (termopar *TCBR* nº 1).
- Suma de la potencia 5 de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.75 s antes (termopar *TCBR* nº 1).
- Suma del cuadrado de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.375 s antes (termopar *TCBR* nº 1).
- Suma del cubo de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.375 s antes (termopar *TCBR* nº 1).
- Suma de la potencia 5 de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.375 s antes (termopar *TCBR* nº 1).
- Suma del cuadrado de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.75 s antes (termopar *TCBR* nº 2).
- Suma del cubo de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.75 s antes (termopar *TCBR* nº 2).
- Suma de la potencia 5 de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.75 s antes (termopar *TCBR* nº 2).
- Suma del cuadrado de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.375 s antes (termopar *TCBR* nº 2).
- Suma del cubo de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.375 s antes (termopar *TCBR* nº 2).
- Suma de la potencia 5 de las diferencias entre la temperatura del aire registrada en el momento *i* y la registrada 0.375 s antes (termopar *TCBR* nº 2).

Cada 24 horas

- Código de identificación. En este caso, 270.
- Año en curso.

- Día del año.
- Hora y minutos. En este caso, 2400.
- Temperatura media diaria del aire (termopar *TCBR* nº 1), °C.
- Temperatura máxima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 1), °C.
- Hora a la que se produjo la temperatura máxima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 1), hhmm.
- Temperatura mínima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 1), °C.
- Hora a la que se produjo la temperatura mínima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 1), hhmm.
- Temperatura media diaria del aire (termopar *TCBR* nº 2), °C.
- Temperatura máxima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 2), °C.
- Hora a la que se produjo la temperatura máxima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 2), hhmm.
- Temperatura mínima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 2), °C.
- Hora a la que se produjo la temperatura mínima absoluta del aire (termopar *TCBR* nº 2), hhmm.

4. METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

4.1. La ecuación del balance de energía

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua existente en fase líquida sobre una determinada superficie pasa a la fase gaseosa en forma de vapor de agua. Existen diversos tipos de superficies de las que el agua puede evaporarse: suelo desnudo o cubierto de vegetación, hojas y otros elementos vegetales, lagos y otras superficies de agua libre, etc.

En la zona de playa y alrededores de la laguna de Gallocanta existe una superficie de suelo desnudo o con escasa vegetación de la que se puede evaporar agua. Para que ocurra el proceso de evaporación en este tipo de superficies, debe existir un suministro de agua hacia la superficie del suelo. Este suministro de agua se produce fundamentalmente mediante ascenso capilar del agua del suelo, por lo que dicha evaporación se conoce como capilar. El agua del suelo puede provenir de la capa freática, si está suficientemente cerca, de la infiltración del agua de lluvia o de flujos laterales subsuperficiales.

El ascenso capilar depende, entre otros factores, de la textura del suelo, de la cercanía de la capa freática a la superficie del suelo y de la frecuencia de humedecimiento del suelo, es decir, de la frecuencia de lluvias. Si la demanda evaporativa es alta, el ascenso capilar puede no ser suficientemente rápido para suministrar agua a la superficie del suelo, lo que conllevaría a una discontinuidad de dicho ascenso y en definitiva a una disminución drástica de la tasa de evaporación de agua en la superficie del suelo. El que se produzca esta circunstancia depende fundamentalmente de las propiedades de textura y, por tanto, de la conductividad hidráulica del suelo. Asimismo, depende de la frecuencia de lluvias y de la profundidad de la capa freática. Es evidente que existe una variabilidad intranual e interanual de la superficie de la lámina libre de agua de la laguna y, por tanto, de la profundidad de la capa freática en los alrededores de la laguna. También la precipitación presenta una gran variabilidad entre años y dentro de un año. Por ello, es de esperar que la tasa de evaporación capilar presente una variabilidad similar.

La evaporación es un proceso que requiere un aporte de energía. Por ello, cuando existe un proceso evaporativo en una superficie determinada, se produce un flujo de calor latente en la capa atmosférica situada sobre dicha superficie. En situaciones en las que sólo existen flujos verticales de energía, la principal fuente de energía para el proceso evaporativo es la radiación neta, es decir, la suma algebraica de la radiación incidente (radiación solar de onda corta, directa y difusa, y radiación de onda larga emitida por las nubes y otras partículas atmosféricas) y la radiación saliente (radiación solar de onda corta reflejada por la superficie del suelo y radiación de onda larga emitida por dicha superficie).

En definitiva, es posible escribir una ecuación de balance de energía en los siguientes términos (American Society of Civil Engineers, ASCE, 1996):

$$LE = Rn - (H + G) \quad (1)$$

donde LE es el flujo de calor latente ($W\ m^{-2}$), positivo desde la superficie hacia la atmósfera (evaporación) o negativo hacia la superficie (condensación); Rn es la radiación neta ($W\ m^{-2}$), positiva cuando la radiación incidente supera a la saliente (durante la fase diurna del día) y negativa cuando ocurre lo contrario (durante la noche); H es el flujo de calor sensible ($W\ m^{-2}$), positivo cuando se produce un calentamiento del aire (normalmente, durante buena parte de la fase diurna del día) y negativo cuando el aire se está enfriando (normalmente, cerca del amanecer y anochecer y durante la noche); y G es el flujo de calor en el suelo ($W\ m^{-2}$), positivo cuando el suelo se calienta (por lo general, durante la fase diurna del día) o negativo cuando el suelo se enfría (normalmente, durante la noche). En este balance se consideran despreciables, y por tanto no se incluyen, los procesos metabólicos de las plantas (incluyendo la fotosíntesis).

En superficies vegetales con un suministro adecuado de agua, gran parte de Rn deriva hacia LE , mientras que H y G suelen ser pequeños, sobre todo este último. Por contra, en superficies con poca o sin vegetación y con suministro inadecuado de agua, LE suele ser relativamente pequeño y buena parte de Rn deriva hacia H y, en menor medida, G . En la zona de playa y alrededores de la laguna de Gallocanta se espera que las tasas de LE varíen entre valores relativamente grandes con respecto a Rn , en períodos donde haya un ascenso capilar de agua adecuado (capa freática cerca de la superficie o precipitaciones importantes), y valores relativamente pequeños, en períodos con un ascenso capilar sea insuficiente (capa freática alejada de la superficie o escasas precipitaciones).

La ecuación de balance de energía antes presentada presupone la existencia de flujos verticales pero no de flujos horizontales de energía. La capa atmosférica situada sobre una superficie en la que esas condiciones se producen se denomina capa límite (Monteith y Unsworth, 1990). La altura de esta capa límite aumenta en función de la distancia a la zona de transición entre dos superficies muy diferentes desde el punto de vista aerodinámico (por ejemplo, una zona de arbustos y una pradera adyacente) en la dirección predominante del viento. Por ello, cuando se realizan medidas para cuantificar los componentes de la ecuación del balance de energía, los instrumentos de medida se deben colocar en un punto de la superficie de interés, en este caso la zona de playa de la laguna de Gallocanta, que se encuentre a cierta distancia (en la dirección predominante del viento) de la zona de transición entre ésta y otra superficie diferente. El objetivo es que la altura sobre el nivel del suelo a la que se coloquen los instrumentos de medida sea menor que la de la capa límite en ese punto. Esa distancia se denomina *fetch* y, por regla general, se recomienda que la relación entre *fetch* y altura de colocación de los instrumentos de medida sobre el nivel del suelo sea de, al menos, 100:1 (ASCE, 1996).

En el caso de la laguna de Gallocanta, los instrumentos de medida se han colocado entre 0.9 y 2.0 m de altura sobre el nivel del suelo. De acuerdo con esa regla, el *fetch* mínimo que se precisaría sería de 200 m. En este estudio, estas condiciones se pueden cumplir sobradamente en períodos en que el nivel de agua en la laguna sea bajo y es posible que se cumplan ajustadamente o no se cumplan del todo en períodos en que dicho nivel sea más alto. No obstante, sería poco práctico ir variando la altura de los instrumentos de medida en función de las fluctuaciones del nivel de agua en la laguna y se ha optado por una situación de compromiso en la que se considera que las condiciones de *fetch* se cumplirán

adecuadamente en la mayor parte del tiempo. Al hacer esto, se supone que existe una gran similitud en las propiedades aerodinámicas de la superficie del istmo que separa los lagunazos pequeño y central (Figura 1), con una vegetación escasa, y la playa de la laguna, en muchos períodos sin agua, y siempre sin vegetación.

Existen diversos métodos micrometeorológicos que permiten determinar los componentes de la ecuación del balance de energía. Todos ellos, suelen tener en común la forma en que R_n y G se miden y difieren en el modo en que miden y/o cuantifican LE y H . Se remite al lector a trabajos, como los de ASCE (1996) y Monteith y Unsworth (1990), para una revisión más detallada de dichos métodos.

En general, esos diversos métodos se han aplicado sobre superficies vegetales, tanto naturales como cultivadas. Pero existen pocos trabajos que se hayan dedicado a medir la evaporación de agua en la superficie de una zona de playa y en los márgenes que rodean a un lago o laguna o a pequeñas cuencas cerradas donde dicha evaporación representa la única salida de los caudales de agua que puedan existir en las mismas. Uno de los pocos trabajos que se pueden citar es el de Malek et al. (1990) que midieron la evaporación en la playa y márgenes de un valle desértico cerrado, el valle Pilot, en la parte occidental Desierto Occidental de Utah (Estados Unidos).

Uno de los métodos micrometeorológicos más reconocidos es el de covarianza de torbellinos. Este método es el único en que se miden los cuatro elementos mencionados en la ecuación (1). A pesar de la sólida base teórica de este método y de su amplio uso en los últimos años, existe una serie de limitaciones para su utilización (Fokken y Wichura, 1996). Hoy por hoy, los equipos disponibles en el mercado no permiten el empleo de esta técnica durante períodos prolongados de tiempo y en ubicaciones alejadas de centros de investigación.

Otro método ampliamente aceptado es el de la razón de Bowen en el cual R_n y G se miden con procedimientos comunes a la mayor parte de los métodos micrometeorológicos, H se mide a partir de medidas de temperatura y humedad relativa del aire a dos alturas diferentes sobre el nivel del suelo y LE se determina resolviendo la ecuación (1). Este método presenta también algunas limitaciones (ASCE, 1996) pero sí es posible su utilización durante períodos prolongados de tiempo y en localizaciones alejadas de los centros de investigación. Este método es el que emplearon Malek et al. (1990) para medir la evaporación en la zona de playa del valle Pilot, Utah (Estados Unidos).

Otro método que recientemente se está utilizando, y que requiere un equipo menos sofisticado y de menores necesidades de mantenimiento que en los dos casos anteriores, es el de la renovación de la superficie, método elegido en este trabajo. En este método R_n y G se miden en la forma común a la mayoría de métodos micrometeorológicos, H se determina a partir de medidas muy frecuentes de temperatura del aire a una sola altura y LE se determina resolviendo la ecuación (1). Este método se ha aplicado con resultados satisfactorios en diversos tipos de superficies vegetales (Paw U y Brunet, 1991; Paw et al., 1995; Snyder et al., 1996, 1997, 2000). Este método no se ha aplicado aún en superficies de suelo desnudo o escasa vegetación como la que es objeto de estudio en este trabajo. Pero los buenos resultados obtenidos en otros trabajos, su bajo coste en relación con otros métodos y sus menores necesidades de una vigilancia continua del equipo y de

fetch, señalan que podría ser adecuado para el estudio del problema analizado en este informe.

4.2. Medida de la radiación neta y el flujo de calor hacia el suelo

La radiación neta se midió con un radiómetro modelo Q-7 como se indica en la sección 3.1. Se remite al lector a Martínez Cob (2000) para una información más detallada de este sensor.

El flujo de calor en el suelo (G) se midió con dos placas de flujo de calor *HFP01* (sección 3.1). En principio, el objetivo es la medida de G en la superficie del suelo. Sin embargo, la colocación de las mencionadas placas sobre la superficie del suelo o ligeramente enterradas conduce a importantes errores de medida (sobrecalentamiento por incidencia directa de los rayos de sol, condensación de vapor de agua, etc.). Por ello, la práctica habitual es enterrar las placas a determinada profundidad y corregir las correspondientes lecturas añadiendo la cantidad de calor almacenada en el suelo por encima de las placas (ASCE, 1996). Esta corrección se basa en el cambio con el tiempo de la temperatura del suelo. Asimismo, la heterogeneidad del suelo impone la utilización de dos placas en vez de una. Por ello, en este trabajo, G ($W\ m^{-2}$) se determinó cada 30 minutos a partir de la siguiente expresión (ASCE, 1996):

$$G = \frac{F1 + F2}{2} + S \quad (2)$$

donde $F1$ y $F2$ son los flujos de calor hacia el suelo medidos con las dos placas *HFP01*, respectivamente ($W\ m^{-2}$), y S es el calor almacenado en el suelo por encima de las placas ($W\ m^{-2}$). Este calor se determinó con la siguiente expresión:

$$S = \frac{\Delta T_s}{\Delta t} d_p \rho_b (840 + 4190 \theta) \quad (3)$$

donde ΔT_s es la diferencia de temperatura de suelo (medida con una sonda *TCAV*, sección 3.1) entre dos períodos de 30 minutos consecutivos ($^{\circ}C$), Δt es el tiempo transcurrido (en este caso, 1800 s), d_p es la profundidad a la que se miden $F1$ y $F2$ (en este caso, 0.08 m), ρ_b es la densidad aparente del suelo ($kg\ m^{-3}$) y θ es el contenido volumétrico de agua en los primeros centímetros del suelo ($m^{-3}\ m^{-3}$). En este trabajo se ha supuesto una densidad aparente de $1300\ kg\ m^{-3}$, un valor apropiado para un suelo de textura media. Asimismo, se ha supuesto un contenido volumétrico de agua de $0.20\ m^{-3}\ m^{-3}$, valor que, como término medio, puede producirse en gran parte del tiempo en un suelo de texturas medias como el existente en el lugar de ubicación de la estación. Aunque G es relativamente sensible a los valores de ρ_b y, sobre todo, de θ , las estimas de LE obtenidas resolviendo la ecuación (1) son bastante insensibles a esos valores porque, en general, la magnitud de G suele ser relativamente pequeña.

4.3. Método de la renovación de la superficie

El método de la renovación de la superficie se basa en la existencia de *estructuras coherentes* en los valores de temperatura del aire registrada en

intervalos de tiempo muy cortos, del orden de décimas de segundo a pocos segundos (Gao et al., 1989; Shaw et al., 1989). Estas *estructuras coherentes* consisten en *paquetes de aire* que descienden hacia la superficie y penetran en el interior del dosel vegetal. En la superficie, el aire se calienta o enfría debido a transferencias de energía entre el aire y los elementos del dosel vegetal. De esta forma, esos *paquetes de aire* son expelidos de la superficie y nuevos *paquetes de aire* descienden para reemplazar (*renovar*) el aire expelido. El proceso de calentamiento y enfriamiento conduce a la existencia de unas *rampas* o tendencias en los valores registrados de temperatura del aire en intervalos de tiempo cortos.

La Figura 3 muestra un esquema de las *rampas* de temperatura que se producen a causa del proceso descrito anteriormente. Estas rampas se caracterizan por una amplitud media, a (en $^{\circ}\text{C}$) y una frecuencia inversa de rampa, $l+s$ (en segundos). Durante condiciones atmosféricas inestables (parte superior de la Figura 3), la temperatura desciende abruptamente debido a que aire frío se dirige a la superficie, por lo que a es positiva. A continuación, viene un período de reposo (s), seguido de un período (l) en el que la temperatura aumenta debido a que la superficie calienta los *paquetes de aire*. En pocos segundos, estos *paquetes de aire* calentados son expelidos hacia la atmósfera y sustituidos por otros *paquetes de aire* más fríos. Por su parte, durante condiciones atmosféricas estables, la temperatura aumenta abruptamente debido a que aire caliente desciende hacia la superficie y, por tanto, a es negativa. A continuación viene un período de reposo (s) y otro período (l) en el que la temperatura disminuye gradualmente a causa de la transferencia de calor desde los *paquetes de aire* a los elementos de la superficie. Si los valores medios de la amplitud (a) y de la frecuencia ($l+s$) son conocidos, el flujo de calor sensible H puede ser determinado a partir de principios básicos de balance de energía (Snyder et al., 1996; Spano et al., 1997, 2000).

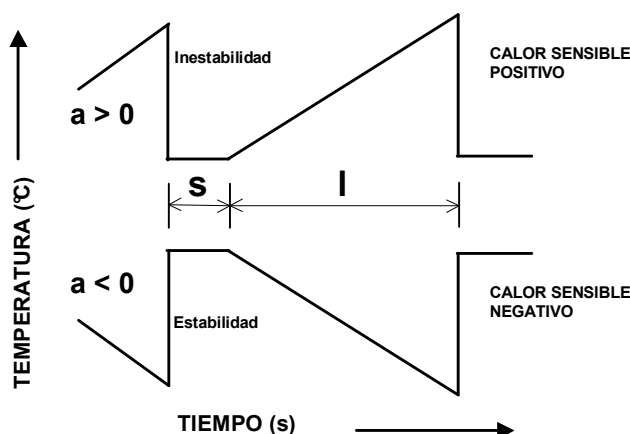


Figura 3. Esquema de las rampas de temperatura del aire con amplitud $a > 0$ y $a < 0$ para condiciones atmosféricas inestables y estables, respectivamente. La frecuencia inversa de rampas ($l+s$), en segundos, es la suma del período de reposo (s) y la longitud de la rampa (l).

En consecuencia, el flujo de calor sensible, con el método de la renovación de la superficie, H_{sr} (W m^{-2}), se determinó con la siguiente ecuación para períodos de 30 minutos:

$$H_{sr} = \alpha \rho_a c_p \frac{a}{l+s} z \quad (4)$$

donde α es un factor de ponderación, z es la altura de medida (m), c_p es el calor específico del aire a presión constante ($1.013 \text{ J g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) y ρ_a es la densidad del aire (g m^{-3}). El Cuadro 1 lista las diferentes alturas de medida utilizadas con cada termopar en distintos períodos. El factor de ponderación α representa el cambio medio de la temperatura dentro del volumen de aire existente en el interior de la cubierta vegetal. Si esta cubierta es baja (como en el caso de praderas de gramíneas), $\alpha = 1.0$ (Snyder et al., 1996; Spano et al., 1997). Este valor es de esperar pues los cambios de temperatura con la altura por encima de la cubierta vegetal probablemente son uniformes y la profundidad de ésta es bastante pequeña respecto a las alturas de medición. En el caso estudiado en este informe, se ha considerado inicialmente un valor de $\alpha = 1.0$. La comparación entre los valores medidos de H con el equipo de covarianza de torbellinos (sección 4.4) y los estimados con el método de la renovación de la superficie permitieron encontrar valores adecuados de α para las condiciones de este trabajo (sección 5.2.1).

Cuadro 1. Alturas de medida (z) de la temperatura de alta frecuencia (termopares TCBR) en distintos períodos.

Período	Termopar 1	Termopar 2	Termopar 3	Termopar 4
6 de marzo (8:00) a 30 de mayo (11:30) de 2000	1.4	1.4		
30 de mayo (12:00) a 8 de junio (9:00) de 2000 ^(a)	-	1.4	-	-
8 de junio (9:30) a 17 de julio (15:00) de 2000	1.4	1.4	-	-
17 de julio (15:30) a 25 de julio (11:30) de 2000 ^(a)	-	1.4	-	-
25 de julio (12:00) a 4 de agosto (10:30) de 2000 ^{(a) (b)}	-	1.4	0.9	1.1
4 de agosto (11:00) a 7 de septiembre (8:00) de 2000	1.4	1.4	-	-
7 de septiembre (8:30) de 2000 a 20 de marzo (10:30) de 2001	0.9	0.9	-	-
20 de marzo (11:00) a 30 de noviembre (24:00) de 2001	1.4	0.9	-	-

^(a) Se instaló además un equipo de covarianza de torbellinos (secciones 3.2 y 5.2.1).

^(b) Se instaló además un acumulador de datos adicional con dos termopares.

La densidad del aire ρ_a se calculó en función de la temperatura del aire (registrada con la sonda *Vaisala 50Y*) y de la presión de vapor, tal como se detalla en ASCE (1996). Aquí simplemente se indica que su valor para una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 100 % es 1194 g m^{-3} .

Para determinar los valores de a y $l+s$, se han utilizado las funciones de estructura $S^n(r)$ y la técnica de análisis propuesta por Van Atta (1977):

$$S^n(r) = \frac{1}{m-j} \sum_{i=1+j}^m (T_i - T_{i-j})^n \quad (5)$$

donde m es el número de valores de temperatura medidos durante el intervalo de 30 minutos con una frecuencia f (en Hz), n es la potencia de la función, r es el intervalo de tiempo tal que $r = j/f$ y T_i es el valor de temperatura (°C) medido en el momento i con un termopar *TCBR*. Siguiendo la descripción de Spano et al. (1997) se han considerado tres valores de n : 2, 3 y 5. Con el acumulador de datos *GALLOCA2* se registraron las sumas indicadas en el segundo término de la ecuación (5) (sección 3.2.1). En el análisis posterior de estos datos se procedió al cálculo de los valores $S^n(r)$ como se indica en dicha ecuación. El Cuadro 2 lista los valores de f y m usados con cada termopar en distintos períodos. Asimismo, en este trabajo se han usado valores de $j = 1$ y 3 y de $j = 2$ y 4 en distintos períodos (Anejo 5) por lo que los correspondientes valores de r se listan en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Número de valores (m) de temperatura de alta frecuencia (termopares *TCBR*) medidos en intervalos semihorarios con una frecuencia (f), en distintos períodos.

Período	Termopar 1		Termopar 2		Termopar 3		Termopar 4	
	m	$1/f$ (s)	m	$1/f$ (s)	m	$1/f$ (s)	m	$1/f$ (s)
6 de marzo (8:00) a 30 de mayo (11:30) de 2000	7200	0.25	7200	0.25	-	-	-	-
30 de mayo (12:00) a 8 de junio (9:00) de 2000 ^(a)	-	-	9600	0.1875	-	-	-	-
8 de junio (9:30) a 17 de julio (15:00) de 2000	7200	0.25	7200	0.25	-	-	-	-
17 de julio (15:30) a 25 de julio (11:30) de 2000 ^(a)	-	-	14400	0.125	-	-	-	-
25 de julio (12:00) a 4 de agosto (10:30) de 2000 ^{(a)(b)}	-	-	14400	0.125	9600	0.1875	9600	0.1875
4 de agosto (11:00) a 7 de septiembre (8:00) de 2000	9600	0.1875	9600	0.1875	-	-	-	-
7 de septiembre (8:30) de 2000 a 20 de marzo (10:30) de 2001	9600	0.1875	9600	0.1875	-	-	-	-
20 de marzo (11:00) a 30 de noviembre (24:00) de 2001	9600	0.1875	9600	0.1875	-	-	-	-

^(a) Se instaló además un equipo de covarianza de torbellinos (secciones 3.2 y 5.2.1).

^(b) Se instaló además un acumulador de datos adicional con dos termopares.

De esta forma, para cada combinación de termopar (altura de medida) e intervalo de tiempo r , se estimó el valor medio semihorario de la amplitud a mediante la solución de la siguiente ecuación para encontrar sus raíces reales:

$$a^3 + pa + q = 0 \quad (6)$$

donde:

$$p = 10S^2(r) - \frac{S^5(r)}{S^3(r)} \quad (7)$$

y:

$$q = 10S^3(r) \quad (8)$$

Cuadro 3. Intervalos de tiempo (r) usados para determinar diferencias de temperatura de alta frecuencia (termopares $TCBR$) en distintos períodos.

Período	Termopar 1		Termopar 2		Termopar 3		Termopar 4	
	$r1$ (s)	$r2$ (s)	$r1$ (s)	$r2$ (s)	$r1$ (s)	$r2$ (s)	$r1$ (s)	$r2$ (s)
6 de marzo (8:00) a 30 de mayo (11:30) de 2000	0.75	0.25	0.75	0.25	-	-	-	-
30 de mayo (12:00) a 8 de junio (9:00) de 2000 ^(a)	-	-	0.5625	0.1875	-	-	-	-
8 de junio (9:30) a 17 de julio (15:00) de 2000	0.75	0.25	0.75	0.25	-	-	-	-
17 de julio (15:30) a 25 de julio (11:30) de 2000 ^(a)	-	-	0.50	0.25	-	-	-	-
25 de julio (12:00) a 4 de agosto (10:30) de 2000 ^{(a)(b)}	-	-	0.50	0.25	0.75	0.375	0.75	0.375
4 de agosto (11:00) a 7 de septiembre (8:00) de 2000	0.75	0.375	0.75	0.375	-	-	-	-
7 de septiembre (8:30) de 2000 a 20 de marzo (10:30) de 2001	0.75	0.375	0.75	0.375	-	-	-	-
20 de marzo (11:00) a 30 de noviembre (24:00) de 2001	0.75	0.375	0.75	0.375	-	-	-	-

^(a) Se instaló además un equipo de covarianza de torbellinos (secciones 3.2 y 5.2.1).

^(b) Se instaló además un acumulador de datos adicional con dos termopares.

La solución de la ecuación (6) para encontrar sus raíces reales se realizó mediante un proceso iterativo de cálculo numérico, el método de Newton (Gerald y Wheatley, 1985). Finalmente, $l+s$ se calculó con la siguiente expresión:

$$l+s = -\frac{a^3 r}{S^3(r)} \quad (9)$$

Según Van Atta (1977), este análisis es adecuado si $l+s$ es bastante mayor que r . Por ello, cuando el valor calculado de $l+s$ fue menor que $5r$, la solución se descartó (Snyder, 2000, com. pers.). Esta circunstancia llevó ocasionalmente a la no obtención de una estima de H_{sr} en algunos períodos semihorarios para una determinada combinación de valores de z y r . Además, este problema ocurrió

generalmente en períodos nocturnos, durante los cuales se puede suponer que LE es despreciable.

En definitiva, con el procedimiento descrito se obtuvo una estima de H_{sr} para cada combinación de termopar (altura de medida) e intervalo de tiempo r . En la mayor parte del tiempo, pues, se obtuvieron 4 estimas semihorarias de H_{sr} (Cuadro 3). En la sección 5.2.2 se discutirán las diferencias entre estas estimas. Como ya se ha mencionado anteriormente, el flujo de calor latente con el método de la renovación de la superficie (LE_{sr}) se obtuvo finalmente resolviendo la ecuación (1). Por último, los valores de LE_{sr} se expresaron en términos de altura de agua o evapotranspiración real en los márgenes de la laguna (ET_{sr}), en mm (30 min)⁻¹, mediante la siguiente expresión (ASCE, 1996).

$$ET_{sr} = \frac{0.0018 LE_{sr}}{\lambda} \quad (10)$$

donde λ es el calor latente de vaporización (kJ g⁻¹) calculado en función de la temperatura del aire registrada (ASCE, 1996). A 20 °C, su valor es 2.454 kJ g⁻¹.

4.4. Método de covarianza de torbellinos

La transferencia de energía y momento entre una determinada superficie (vegetal o suelo desnudo, por ejemplo) y la capa límite de la atmósfera adyacente a la misma se produce mediante un régimen turbulento ocasionado por convección y por el roce del aire con los elementos rugosos de la mencionada superficie. Este régimen turbulento conduce a la existencia de unos torbellinos de aire por medio de los que se producen los intercambios de energía y momento entre la superficie y la capa límite (Monteith y Unsworth, 1990; ASCE, 1996). Este proceso es en esencia similar al mencionado en el caso del método de la renovación de la superficie.

La existencia de este régimen turbulento presupone que las fluctuaciones verticales de velocidad de viento, temperatura y densidad de vapor de agua (o de cualquier otro gas atmosférico) están correlacionadas. Por ello, el método de covarianza de torbellinos sugiere que los flujos de calor latente (LE_{EC}) y calor sensible (H_{EC}) se pueden determinar a partir de las covarianzas estadísticas entre las fluctuaciones verticales, en intervalos de tiempo cortos, de las variables antes mencionadas, suponiendo que los flujos de energía sean constantes dentro de la capa límite (lo que presupone la existencia de un *fetch* adecuado) y la velocidad vertical del viento sea 0. Con este método, los flujos de LE_{EC} y H_{EC} se calculan con las siguientes expresiones (Monteith y Unsworth, 1990; ASCE, 1996):

$$LE_{EC} = \lambda \overline{w' \rho'_v} \quad (11)$$

$$H_{EC} = \rho_a c_p \overline{w' T'} \quad (12)$$

donde λ es el calor latente de vaporización (2454 J g⁻¹ a 20 °C, sección 4.3), $\overline{w' \rho'_v}$ es la covarianza entre las fluctuaciones verticales de viento (w') y las de la densidad del vapor de agua (ρ'_v), ρ_a es la densidad del aire (1194 g m⁻³, aire saturado a 20 °C, sección 4.3), c_p es el calor específico del aire seco (1.013 J g⁻¹ °C⁻¹) y $\overline{w' T'}$ es

la covarianza entre las fluctuaciones verticales de viento y las de la temperatura del aire (T').

En este trabajo se ha utilizado un equipo de covarianza de torbellinos de la marca *Campbell* compuesto de un anemómetro sónico modelo CA27 para la medida de las fluctuaciones verticales de la velocidad de viento y un termopar de hilo fino modelo T127 para la medida de las fluctuaciones de la temperatura del aire. No se pudo disponer de un higrómetro para la medida de las fluctuaciones verticales de la densidad del vapor de agua. Por consiguiente, no se pudieron realizar medidas de LE_{EC} , tan sólo de H_{EC} . Este equipo no permite realizar medidas durante períodos prolongados de tiempo, particularmente en lugares apartados de centros de investigación. No obstante, el método de covarianza de torbellinos tiene una sólida base teórica y se está utilizando ampliamente en multitud de trabajos de investigación. Por ello, se consideró la conveniencia de realizar medidas con esta técnica, aunque fuese en períodos cortos de tiempo, con el fin de recopilar datos de H para verificar el funcionamiento del método de la renovación de la superficie.

El equipo de covarianza de torbellinos se instaló durante dos períodos: a) período 1: 31 de mayo (12:00 GMT) a 8 de junio (9:00 GMT) de 2000; b) período 2: 17 de julio (15:30 GMT) a 4 de agosto (10:30 GMT) de 2000. Se conectó al equipo acumulador de datos GALLOCA2 (sección 3.2). Los sensores de este equipo se colocaron a 1.5 m sobre el suelo. Durante los dos períodos citados, el acumulador de datos GALLOCA2 se programó para realizar, además de las lecturas descritas en la sección 3.2.1 y en el Anejo 5, lecturas del anemómetro sónico y del termopar 127 cada 0.1875 s (período 1) y 0.125 s (período 2) y almacenar la covarianza $\overline{w' T'}$ en períodos de 30 minutos. A partir de estos datos, se obtuvieron registros semihorarios de H_{ct} con la ecuación (12) y estos valores se corrigieron para tener en cuenta el efecto de la densidad del vapor de agua sobre los flujos medidos y el efecto de la densidad de oxígeno sobre las lecturas del higrómetro (Tanner et al., 1993).

En este trabajo se presentan sólo los resultados obtenidos con el equipo de covarianza de torbellinos durante el período 25 de julio (12:00 GMT) a 4 de agosto (10:30 GMT). Durante el período 17 de julio (15:30 GMT) a 25 de julio (11:30 GMT) apenas se obtuvieron datos con este método debido a una lluvia vespertina del 17 de julio que estropeó los transductores del anemómetro sónico, los cuales fueron reparados el 25 de julio. Por su parte, en el período 1 (31 de mayo a 8 de junio), el viento sopló casi en su totalidad del sureste. Los sensores del equipo de covarianza de torbellinos, por el contrario, se habían orientado hacia el noroeste porque ésta es estadísticamente la dirección predominante en la zona. El equipo de covarianza de torbellinos no funciona adecuadamente cuando el mástil de soporte de los sensores hace de pantalla de éstos (Foken y Wichura, 1996). Por ello, la calidad de los datos registrados en dicho período resultaba algo cuestionable y por eso no se emplearon en este trabajo.

4.5. Método de FAO Penman-Monteith

El método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) se aplicó para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_0) a partir de los datos meteorológicos medios diarios registrados en el acumulador de dato GALLOCA1. La ET_0 se define como el

consumo de agua de una gramínea pratense de una altura uniforme (12 cm), cubriendo completamente el suelo, creciendo activamente, libre de enfermedades y con un suministro adecuado de agua para satisfacer completamente sus necesidades hídricas (Allen et al., 1998). Es decir, la ET_0 representa un valor máximo consumo de agua que habría en la zona si no hubiera falta de suministro de agua y, por ello, representa el efecto del clima sobre el proceso de evapotranspiración. La ET_0 se calculó para comparar la evolución de esta variable con la de la ET_{sr} a lo largo del período de estudio con el fin de analizar cómo respondían ambas variables, principalmente a la falta de agua, es decir a la falta de precipitaciones en la zona.

El cálculo de la ET_0 se realizó con la siguiente expresión (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \left(\frac{\Delta (R_n - G) + \rho c_p DPV / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)} \right) \frac{0.0864}{\lambda} \quad (13)$$

donde la ET_0 se expresa en mm día⁻¹; Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación, kPa °C⁻¹; R_n es la radiación neta, W m⁻²; G es el flujo de calor en el suelo; W m⁻²; ρ es la densidad atmosférica, kg m⁻³ (sección 4.3); c_p es el calor específico del aire seco, 1.013, kJ kg⁻¹ °C⁻¹; DPV es el déficit de presión de vapor, kPa; r_a es la resistencia aerodinámica al flujo de vapor de agua, s m⁻¹; γ es la constante psicrométrica, kPa °C⁻¹; r_s es la resistencia aparente de una superficie de gramíneas pratenses, 70 s m⁻¹; y λ es el calor latente de vaporización, MJ kg⁻¹ (sección 4.3).

Los valores diarios de R_n y G se obtuvieron promediando los valores semihorarios medidos como se explica en la sección 4.2. Δ se calculó con la siguiente expresión:

$$\Delta = \frac{2504 \exp\left(\frac{17.27 T_{med}}{T_{med} + 237.3}\right)}{(T_{med} + 237.3)^2} \quad (14)$$

donde T_{med} es la temperatura media del aire, °C, calculada como la media de la temperatura máxima y mínima.

El déficit de presión de vapor, DPV , se calculó como la diferencia entre la presión de vapor a saturación, e_a , y la presión de vapor real, e_d , ambas en kPa. La presión de vapor a saturación se calculó con las siguientes expresiones:

$$e_a^o(T_{max}) = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right) \quad (15a)$$

$$e_a^o(T_{min}) = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right) \quad (15b)$$

$$e_a = \frac{e_a^o(T_{max}) + e_a^o(T_{min})}{2} \quad (15c)$$

donde $e_a^0(T_{max})$ es la presión de vapor de saturación a la temperatura máxima, kPa; $e_a^0(T_{min})$ es la presión de vapor de saturación a la temperatura mínima, kPa; T_{max} es la temperatura del aire máxima, °C; y T_{min} es la temperatura del aire mínima, °C.

La constante sicrométrica se calculó con la siguiente expresión:

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (16)$$

donde P_{atm} es la presión atmosférica, kPa, calculada como se describe en ASCE (1996).

Finalmente, la resistencia aerodinámica r_a se calculó con la expresión siguiente:

$$r_a = \frac{207.7}{U^2} \quad (17)$$

donde U es la velocidad media diaria del viento, $m s^{-1}$.

Los valores estimados de ET_0 se utilizaron asimismo para estimar la posible evaporación de suelo desnudo (ET_{kc}) en los márgenes de la laguna de Gallocanta. En esta zona, gran parte del suelo está desprovisto de vegetación o ésta es escasa. En base a este hecho, se decidió emplear la metodología de la FAO para estimar valores diarios de ET_{kc} (Allen et al., 1998):

$$ET_{kc} = K_c ET_0 \quad (18)$$

donde K_c es el denominado coeficiente de cultivo de suelo desnudo. Allen et al. (1998) proponen calcular este coeficiente, para un determinado período de tiempo, en función de la frecuencia de humedecimiento del suelo y de la ET_0 media en ese período. En este trabajo se calcularon valores mensuales de K_c a partir de la ET_0 media mensual y del número de eventos de precipitación mensual, entendiendo como evento de precipitación el día en que se registró una precipitación superior a 1.0 mm. El valor diario de ET_{kc} se calculó, pues, con la ecuación (18) usando el valor diario de ET_0 correspondiente y el valor mensual de K_c del mes en cuestión. Los valores de ET_{kc} representan el valor mínimo de evapotranspiración que se espera en la zona de estudio si todo el suelo estuviera desnudo, desprovisto por completo de vegetación. En consecuencia, hay que esperar que los valores estimados de ET_{sr} se encuentren entre los dos límites, máximo y mínimo, representados por los valores estimados de ET_0 y ET_{kc} .

4.6. Análisis estadísticos

Las diversas comparaciones que se realizaron en este trabajo entre diversas variables meteorológicas y metodologías utilizaron dos tipos de análisis:

- Análisis de regresión simple, $y = a + b x$, donde y es la variable dependiente, x es la variable independiente, a es la ordenada en el origen y b es la pendiente de regresión. Asimismo, en diversos casos, se realizó un segundo análisis de regresión, $y = c x$, en el que se consideró que $a = 0$ y siendo c la nueva pendiente de regresión.

b) Análisis de errores. Para realizar este análisis se calcularon los estadísticos error cuadrático medio (*RMSE*) e índice de similitud (*IA*) (Willmott, 1982).

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n} \quad (19)$$

$$IA = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| - |x_i - \bar{x}|)^2} \quad (20)$$

donde y_i es el valor i de la variable dependiente, x_i es el valor i de la variable independiente, \bar{x} es la media aritmética de la variable independiente y n es el número de pares de valores de ambas variables.

Cuanto menor sea el valor de *RMSE*, menor será la diferencia entre las dos variables comparadas. Asimismo, cuanto más se aproxime el valor de *IA* a 1, mayor similitud existirá entre dichas variables.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización meteorológica de la laguna de Gallocanta durante el período de estudio

Como ya se mencionó en la sección 2, el estudio descrito en este trabajo comprende el período 16 de febrero de 2000 a 30 de noviembre de 2001. Por tanto, se trata de un período corto, sólo 1 año, 9 meses y 14 días. En consecuencia, la caracterización meteorológica de la laguna de Gallocanta presentada en este informe sólo se circunscribe a dicho período y no puede utilizarse para describir la climatología general de la zona. Todos los datos registrados en ambas estaciones, *GALLOCA1* y *GALLOCA2*, durante el período mencionado se encuentran en el *CD-ROM* adjunto a este informe, tanto en formato *ASCII* como en formato *EXCEL*.

5.1.1. Precipitación

La precipitación total registrada en el período de estudio fue 567.0 mm. El año 2000 fue bastante más lluvioso que el año 2001: la precipitación acumulada en el período 16 de febrero a 30 de noviembre de 2000 fue 347.4 mm, mientras que en idéntico período de 2001 sólo se registraron 154.9 mm. En el año comprendido entre 16 de febrero de 2000 y 15 de febrero de 2001, la precipitación total fue 412.1 mm.

El Cuadro 4 lista la distribución de intensidades de precipitación semihoraria registradas. Sólo en el 2.9 % de los períodos semihorarios se registró precipitación. Y sólo en el 0.47 % de esos períodos la precipitación fue igual o superior a 1.0 mm. Los dos períodos semihorarios con mayor intensidad de precipitación fueron las 13:00 *GMT* del 21 de mayo de 2000 (10.5 mm) y las 17:30 *GMT* del 23 de mayo de 2000 (10.3 mm). El registro consecutivo más largo de precipitación fue del 9 (22:00 *GMT*) al 10 (9:00 *GMT*) de junio de 2000 (23 semihoras, 18.8 mm).

Cuadro 4. Distribución de intensidades de precipitación registradas en los períodos semihorarios del período de estudio.

Rangos de intensidad (mm)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa, %
0	30494	97.10
0.2	449	1.43
0.4 a 1.0	314	1.00
1.0 a 2.0	103	0.33
2.0 a 4.0	36	0.11
4.0 a 8.0	7	0.02
> 8.0	3	0.01
Total	31406	100.0

El Cuadro 5 lista la distribución de intensidades de precipitación diaria registradas. Hubo precipitación en 207 días (31.7 %). En 115 días (17.6 %), el registro fue igual o mayor de 1.0 mm. Los 3 días en que se superaron 20.0 mm de precipitación fueron 17 de mayo (26.5 mm), 21 de mayo (25.1 mm) y 23 de octubre (23.0 mm) de 2000. El período consecutivo más largo con precipitación igual o mayor de 1.0 mm fue de 6 días, 5 a 10 de mayo de 2000 (29.3 mm).

Cuadro 5. Distribución de intensidades de precipitación diaria registradas en el período de estudio.

Rangos de intensidad (mm)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa, %
0	447	68.3
0.2 a 1.0	92	14.1
1.0 a 2.0	29	4.4
2.0 a 5.0	51	7.8
5.0 a 10.0	25	3.8
10.0 a 20.0	7	1.1
> 20.0	3	0.5
Total	654	100.0

El Cuadro 6 lista las precipitaciones mensuales totales registradas. El mes más lluvioso (ambos años) fue mayo; el segundo, octubre (2000) y enero (2001). El mes más seco (ambos años) fue febrero pero las cifras de 2000 no son válidas pues sólo hubo 14 días de datos. El Cuadro 6 lista además el nº de días con precipitación igual o mayor que: a) 0.2 mm; y b) 1.0 mm; en este caso, las cifras mayores ocurrieron en mayo y octubre (11 días), en 2000, y en enero (9 días) en 2001.

Cuadro 6. Precipitación total mensual (P_{mes}) y nº de días con precipitación igual o mayor que 0.2 mm ($ND0$) y 1.0 mm ($ND1$) en el período de estudio.

Mes	2000			2001		
	P_{mes} (mm)	$ND0$	$ND1$	P_{mes} (mm)	$ND0$	$ND1$
Enero				31.9	20	9
Febrero ^(a)	0.2	1	0	4.6	9	1
Marzo	20.6	8	8	19.6	12	6
Abril	44.0	15	10	5.7	7	2
Mayo	96.8	17	11	38.6	10	7
Junio	53.9	8	6	9.1	2	2
Julio	14.5	4	2	9.7	5	3
Agosto	5.1	5	2	9.1	3	2
Septiembre	12.7	7	3	25.3	7	6
Octubre	74.9	17	11	31.3	11	6
Noviembre	24.6	14	8	6.1	9	3
Diciembre	28.7	16	7			
Total	376.1	112	68	190.9	95	47

^(a) Sólo 14 días disponibles.

La Figura 4 muestra los valores mensuales de precipitación registradas en la estación de Gallocanta y en 3 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología, Las Cuelas 'Gasolinera, Tornos y Bello 'DGA', para el período marzo de 2000 a agosto de 2001. Las tendencias observadas fueron bastante parecidas en las 4 estaciones. Mayo y octubre de 2000 fueron los meses más lluviosos en los 4 casos. Los índices de similitud entre la precipitación mensual de Gallocanta y la de las otras estaciones fueron altos: 0.966 (Las Cuelas), 0.983 (Tornos) y 0.988 (Bello). Los valores de $RMSE$ fueron respectivamente 9.2, 7.7 y 6.3 mm mes⁻¹. Por tanto, los registros de

Bello fueron los más parecidos a los de Gallocanta y los de Las Cuerlas, los menos. La precipitación mensual total en los meses comunes de los 4 registros durante el período considerado (marzo a octubre de 2000, enero a junio de 2001) fue 432.1 mm (Gallocanta), 393.7 (Bello), 472.3 mm (Tornos) y 339.5 mm (Las Cuerlas).

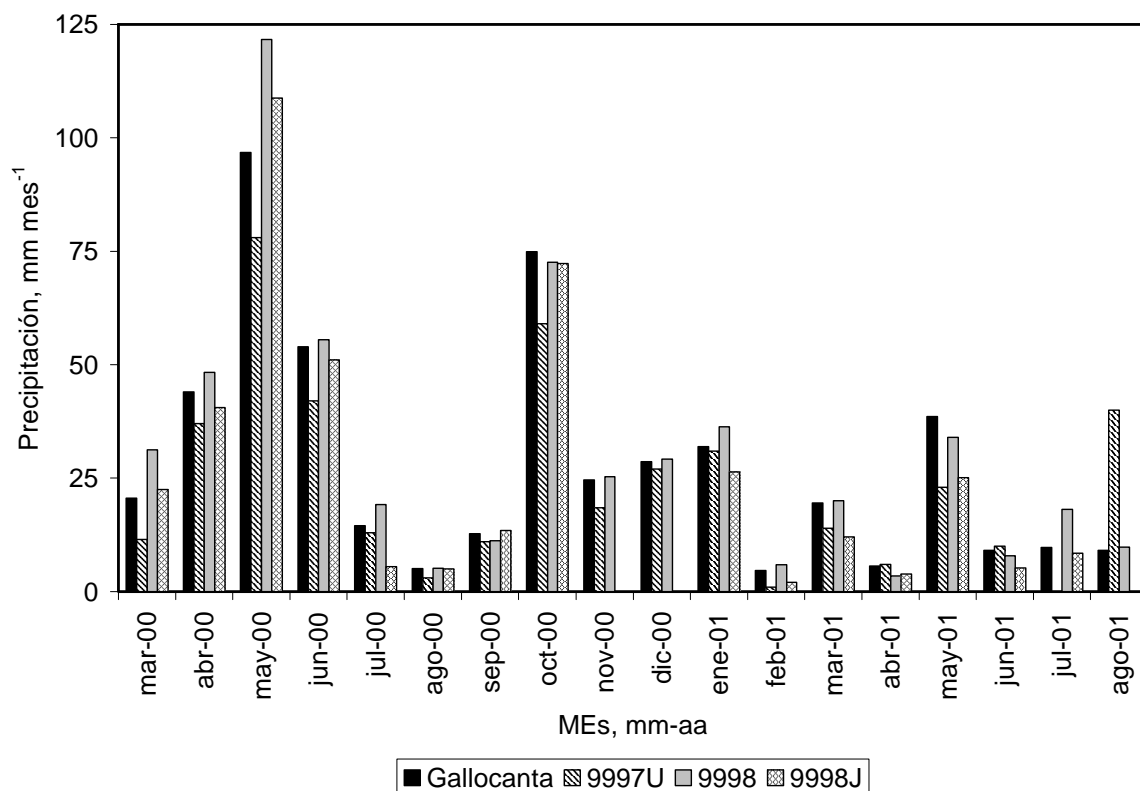


Figura 4. Precipitación mensual total en las estaciones de Gallocanta y en 3 estaciones pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología, Las Cuerlas 'Gasolinera (código 9997U), Tornos (código 9998) y Bello 'DGA' (9998J).

5.1.2. Temperatura del aire y del suelo

El Cuadro 7 lista los resultados de los análisis de regresión y de errores de la comparación de los tres registros de temperatura del aire (sonda *Vaisala* y termopares *TCBR* números 1 y 2) y los registros de temperatura del suelo (sonda *TCAV*), tanto en base semihoraria como en base diaria (medias, máximos y mínimos). La temperatura del suelo sólo se comparó con la temperatura registrada por la sonda *Vaisala*, únicamente para medias semihorarias y diarias.

Los tres registros de temperatura del aire fueron parecidos entre sí: valores de *IA* superiores a 0.959 (Cuadro 7). Aún así, las diferencias fueron significativas: todas las ordenadas en el origen y todas las pendientes de regresión (menos una) fueron significativamente distintas de 0 y 1, respectivamente ($\alpha = 0.95$). Los dos termopares *TCBR* registraron medias (semihorarias y diarias) y máximas y mínimas muy similares (valores de *IA* superiores a 0.9990), con diferencias medias (*RMSE*) de 0.1 a 0.6 °C. Hubo mayores diferencias entre los registros de la sonda *Vaisala* y los termopares *TCBR*: valores de *IA* entre 0.959 y 0.992, y valores de *RMSE* de 1.3-1.6 °C (temperaturas medias), 1.4 °C (temperaturas mínimas) y 3.4-3.7 °C (temperaturas

máximas). Los termopares *TCBR* registraron valores de temperatura mayores que la sonda *Vaisala*, sobre todo las temperaturas máximas. Los termopares *TCBR* se expusieron a la radiación solar mientras que la sonda *Vaisala* se colocó en un protector de radiación por lo que probablemente sufrieron algo de calentamiento que llevó a un cierto sesgo en las lecturas, mayor en las horas centrales del día cuando suelen registrarse los máximos de radiación solar y temperatura. No obstante, parte de las diferencias entre estos tres sensores también se debieron a las diferentes alturas de medida (Cuadro 1). Las diferencias entre los termopares *TCBR*, aunque pequeñas, fueron significativas y éstos se situaron a alturas diferentes durante buena parte del período de estudio (21 de marzo a 30 de noviembre de 2001). Por todo ello y porque casi no se perdió ningún registro de la sonda *Vaisala*, la caracterización de la temperatura del aire en la zona se realizó con dicha sonda.

Cuadro 7. Análisis de regresión simple ($y = a + b x$) y de errores entre medias (semihorarias y diarias) y máximas y mínimas diarias de temperatura del aire (registrada con sonda *Vaisala* y dos termopares *TCBR*) y del suelo (sonda *TCAV*). n , número de valores; R^2 , coeficiente de determinación; a , ordenada en el origen; b , pendiente de regresión; $RMSE$, error cuadrático medio; IA , índice de similitud.

Temperaturas medias semihorarias							
Variable x	Variable y	n	R^2	a (°C)	b	$RMSE$ (°C)	IA
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 1</i>	28910	0.9805	0.939 ^a	1.001 ^b	1.54	0.9920
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 2</i>	30341	0.9810	0.942 ^a	1.006 ^c	1.57	0.9916
<i>TCBR 1</i>	<i>TCBR 2</i>	27877	0.9995	-0.064 ^a	1.006 ^c	0.19	0.9999
<i>Vaisala</i>	<i>TCAV</i>	31404	0.8594	2.923 ^a	0.968 ^c	4.21	0.9419
Temperaturas medias diarias							
Variable x	Variable y	n	R^2	a (°C)	b	$RMSE$ (°C)	IA
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 1</i>	582	0.9858	0.663 ^a	1.025 ^c	1.31	0.9918
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 2</i>	617	0.9836	0.703 ^a	1.026 ^c	1.39	0.9904
<i>TCBR 1</i>	<i>TCBR 2</i>	560	0.9999	-0.017 ^a	1.002 ^c	0.06	1.0000
<i>Vaisala</i>	<i>TCAV</i>	653	0.9253	0.955 ^a	1.129 ^c	3.52	0.9481
Temperaturas máximas diarias							
Variable x	Variable y	n	R^2	a (°C)	b	$RMSE$ (°C)	IA
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 1</i>	596	0.9771	1.212 ^a	1.089 ^c	3.37	0.9670
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 2</i>	628	0.9729	1.245 ^a	1.100 ^c	3.70	0.9591
<i>TCBR 1</i>	<i>TCBR 2</i>	575	0.9970	-0.139 ^a	1.016 ^c	0.59	0.9990
Temperaturas mínimas diarias							
Variable x	Variable y	n	R^2	a (°C)	b	$RMSE$ (°C)	IA
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 1</i>	586	0.9713	0.448 ^a	1.063 ^c	1.37	0.9877
<i>Vaisala</i>	<i>TCBR 2</i>	619	0.9705	0.414 ^a	1.060 ^c	1.36	0.9877
<i>TCBR 1</i>	<i>TCBR 2</i>	564	0.9990	-0.049 ^a	0.993 ^c	0.22	0.9997

^a significativamente diferente de 0 ($\alpha = 0.95$).

^b no significativamente diferente de 1 ($\alpha = 0.95$).

^c significativamente diferente de 1 ($\alpha = 0.95$).

Las diferencias entre las temperaturas del aire (sonda *Vaisala*) y del suelo fueron aún mayores (Cuadro 7), tanto para las medias semihorarias como para las medias diarias. Los valores de IA fueron 0.942-0.948 y los de $RMSE$ fueron 3.5-4.2 °C. Asimismo, los parámetros de regresión fueron si gnificativamente diferentes de 0

(ordenada en el origen) y de 1 (pendiente) ($\alpha = 0.95$). Estos resultados son lógicos: se espera que las amplitudes (diferencias entre valores máximo y mínimo) de la temperatura del suelo sean menores y que su ciclo esté algo desfasado respecto al de la temperatura del aire. La Figura 5 muestra la evolución diaria de la temperatura del aire (sonda *Vaisala*) y del suelo (sonda *TCAV*) durante 2001. El suelo estuvo prácticamente siempre más caliente que el aire, particularmente durante el verano.

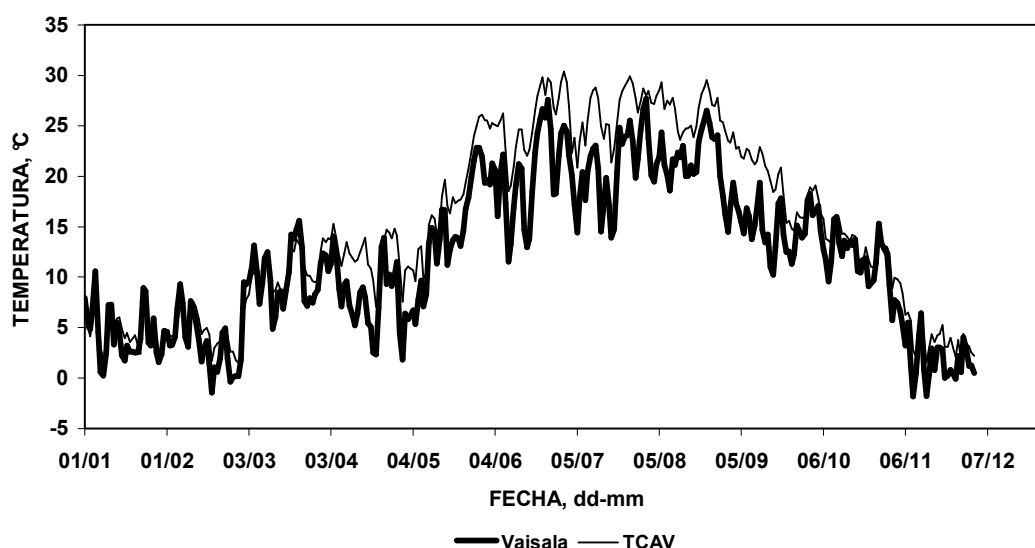


Figura 5. Evolución diaria de la temperatura del aire (sonda *Vaisala*) y del suelo (sonda *TCAV*) durante 2001.

El Cuadro 8 lista valores mensuales de la temperatura del aire (sonda *Vaisala*): medias diarias, medias de las máximas y mínimas, y máximas y mínimas absolutas. El mes de agosto registró la temperatura media diaria más alta, 21.1 °C en 2000 y 22.0 °C en 2001. La temperatura media diaria menor de 2000 se registró en diciembre (4.8 °C) y la de 2001, en noviembre (2.8 °C). Agosto registró además las medias mayores de temperatura máxima en ambos años (30.2 y 30.9 °C, respectivamente) y la máxima absoluta de 2000 (36.6 °C); junio registró la temperatura máxima absoluta de 2001 (37.1 °C). Febrero registró la media más baja de la temperatura mínima de 2000 (-2.0 °C) y noviembre, la de 2001 (-3.7 °C). En 2000, febrero y marzo registraron medias de temperatura mínima por debajo de 0 °C. En 2001 esta circunstancia ocurrió en enero y noviembre. En 2000 se registraron heladas hasta abril y después en octubre, noviembre y diciembre, mientras que en 2001 hubo heladas hasta mayo y de septiembre a noviembre. En 2000, la helada más fuerte se produjo en diciembre (-6.7 °C) y en 2001, en noviembre (-10.2 °C).

El Cuadro 9 lista el número de semihoras y días por mes en los que se registraron heladas. Hubo 146 días con heladas (temperatura mínima inferior a 0 °C), 61 en 2000 y 85 en 2001. En 2000, el mes con más heladas fue marzo (18 días) y en 2001, noviembre (24 días). El período más largo con días de helada fue 16 de febrero a 1 de marzo de 2001, 14 días. Además, en 2000 hubo 621 semihoras con temperatura media inferior a 0 °C; en 2001, 1185. Los meses con mayor número de semihoras con heladas fueron marzo, en 2000 (197), y noviembre, en 2001 (440). El

período con mayor número de semihoras consecutivas con helada fue de las 17:00 GMT del día 14 hasta las 9:30 GMT del 16 de noviembre de 2001 (82 semihoras).

Cuadro 8. Valores mensuales de la temperatura del aire registrada con la sonda *Vaisala*: medias diarias (*Tmd*), medias de las máximas (*Txm*) y mínimas (*Tnm*) y valores máximos (*TxAb*) y mínimos absolutos (*TnAb*).

Mes	2000					2001				
	<i>Tmd</i> (°C)	<i>Txm</i> (°C)	<i>Tnm</i> (°C)	<i>TxAb</i> (°C)	<i>TnAb</i> (°C)	<i>Tmd</i> (°C)	<i>Txm</i> (°C)	<i>Tnm</i> (°C)	<i>TxAb</i> (°C)	<i>TnAb</i> (°C)
Enero						4.3	8.7	0.4	15.2	-4.7
Febrero ^(a)	6.1	15.4	-2.0	20.8	-6.0	3.3	10.0	-2.5	18.3	-7.8
Marzo	6.4	14.7	-1.4	24.2	-6.4	9.6	15.5	4.6	26.1	-3.3
Abril	7.8	13.6	2.4	22.5	-4.1	8.7	16.5	0.4	22.9	-4.8
Mayo	14.3	21.9	7.4	29.0	2.2	13.0	20.5	5.4	33.2	-4.2
Junio	18.4	26.9	9.8	35.2	2.6	19.9	28.9	9.1	37.1	2.4
Julio	20.4	28.8	11.8	36.1	3.4	20.8	29.6	11.3	36.5	3.1
Agosto	21.1	30.2	11.6	36.6	4.8	22.0	30.9	13.2	36.9	9.1
Septiembre	16.7	26.7	7.5	32.8	0.3	14.8	23.6	6.6	30.6	-0.8
Octubre	10.3	16.8	4.4	25.8	-2.2	13.1	20.4	6.8	27.2	-1.0
Noviembre	5.5	10.2	0.7	18.7	-5.0	2.8	9.7	-3.7	15.3	-10.2
Diciembre	4.8	9.7	0.3	16.5	-6.7					

^(a) Sólo 14 días disponibles.

La Figura 6 muestra la evolución de los valores mensuales de temperatura del aire registradas entre marzo de 2000 y agosto de 2001 en Gallocanta (sonda *Vaisala*) y 3 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología, Las Cuerlas 'Gasolinera', Tornos y Bello 'DGA'. Como en el caso de la precipitación, las tendencias fueron similares en las 4 estaciones. Así, los valores de *IA* entre Gallocanta y cada una de las otras 3 estaciones fueron bastante altos, 0.990, 0.980 y 0.994, respectivamente, mientras que los valores de *RMSE* fueron 0.6, 1.0 y 0.5 °C. Por tanto, el mayor parecido con los registros de Gallocanta correspondió a la estación de Bello 'DGA', que también lo fue en términos de precipitación (sección 5.1.1). La temperatura de Tornos fue la menos parecida a la de Gallocanta.

Cuadro 9. Número de días y semihoras con heladas en el período de estudio.

Mes	Días con helada		Semihoras con helada	
	2000	2001	2000	2001
Enero		16		161
Febrero ^(a)	11	22	111	395
Marzo	18	3	197	37
Abril	4	15	25	127
Mayo	0	3	0	20
Junio	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Septiembre	0	1	0	2
Octubre	3	1	8	3
Noviembre	12	24	122	440
Diciembre	13		158	
Total	61	85	621	1185

^(a) Sólo 14 días disponibles.

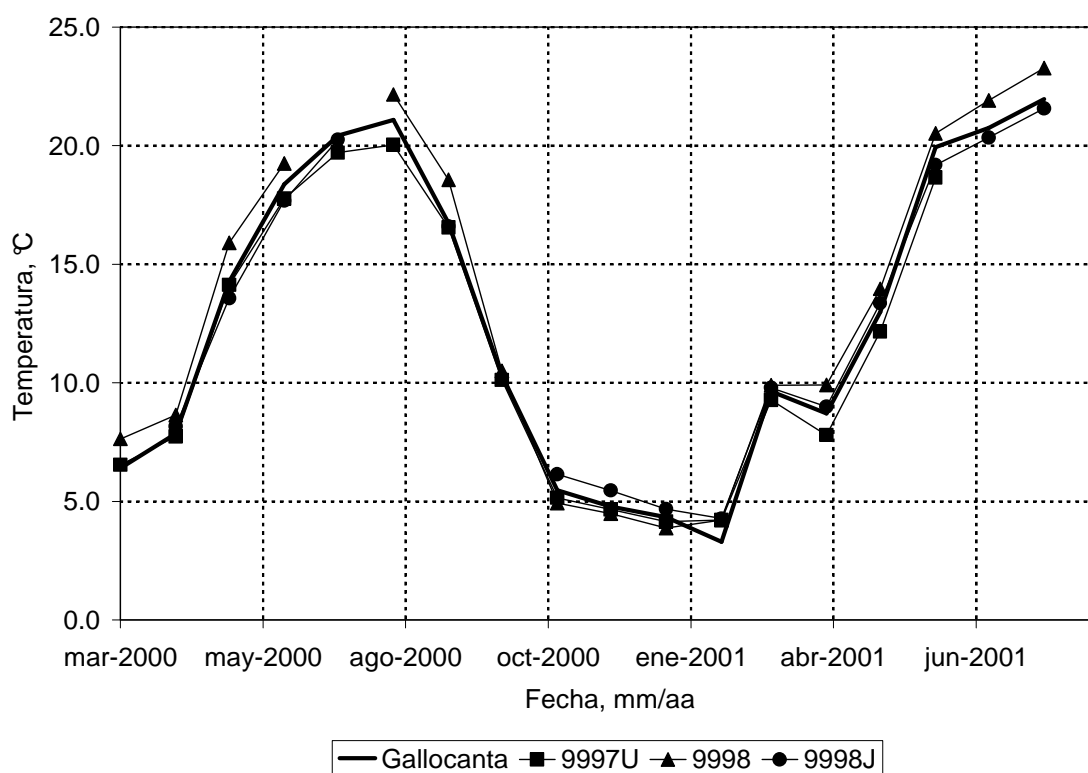


Figura 6. Valores mensuales de temperatura del aire registradas en Gallocanta (sonda *Vaisala*) y 3 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología, Las Cuerlas 'Gasolinera' (código 9997U), Tornos (código 9998) y Bello 'DGA' (código 9998J). Marzo de 2000 a agosto de 2001.

5.1.3. Humedad relativa y déficit de presión de vapor

El Cuadro 10 lista los valores mensuales (medias diarias y medias de las máximas y mínimas) de la humedad relativa del aire. Se observa, sobre todo en 2001, un patrón claro de humedad relativa media alta en los meses fríos y más baja en los meses cálidos. El mismo patrón se observa para la humedad relativa media de las máximas y, sobre todo, de las mínimas. Estos valores sugieren claramente el ambiente relativamente húmedo que existe en el aire durante el invierno y seco que existe en el verano. Valores de humedad relativa mínima (media mensual) de entre 20 a 35 % y valores de humedad relativa media mensual de entre 45-60 % se consideran típicos de climas áridos o semiáridos (Allen et al., 1998). Dichos valores se registraron en buena parte de los meses estudiados en este trabajo.

Cuadro 10. Valores mensuales de la humedad relativa del aire. *HRmd*, medias diarias. *HRmx*, medias de las máximas. *HRmn*, medias de las mínimas.

Mes	2000			2001		
	<i>HRmd</i> (%)	<i>HRmx</i> (%)	<i>HRmn</i> (%)	<i>HRmd</i> (%)	<i>HRmx</i> (%)	<i>HRmn</i> (%)
Enero				88.1	99.0	68.0
Febrero ^(a)	66.6	94.3	32.2	79.9	97.9	49.5
Marzo	65.1	90.2	33.8	75.2	95.3	47.3
Abril	74.1	95.0	44.7	63.7	93.1	32.3
Mayo	73.5	96.6	40.1	67.5	95.0	35.3
Junio	60.2	92.3	26.5	43.8	79.4	18.2
Julio	51.3	84.0	22.7	50.3	84.3	21.9
Agosto	46.8	79.1	19.7	52.0	83.1	22.5
Septiembre	58.1	88.0	25.6	66.4	93.1	33.8
Octubre	77.1	95.6	49.6	79.1	99.4	47.7
Noviembre	84.7	98.2	61.0	82.4	98.0	56.0
Diciembre	83.3	98.4	59.5			

^(a) Sólo 14 días disponibles.

A modo de ejemplo, la Figura 7 muestra la evolución de la media diaria del déficit de presión de vapor a lo largo de 2001. Se observa claramente que dicho déficit es bastante pequeño durante los meses fríos, indicando que el aire suele estar bastante húmedo; mientras, el déficit de presión de vapor presenta mayores fluctuaciones durante el verano pero, en promedio, su valor es claramente más alto, indicando que el aire suele estar bastante seco en esos meses.

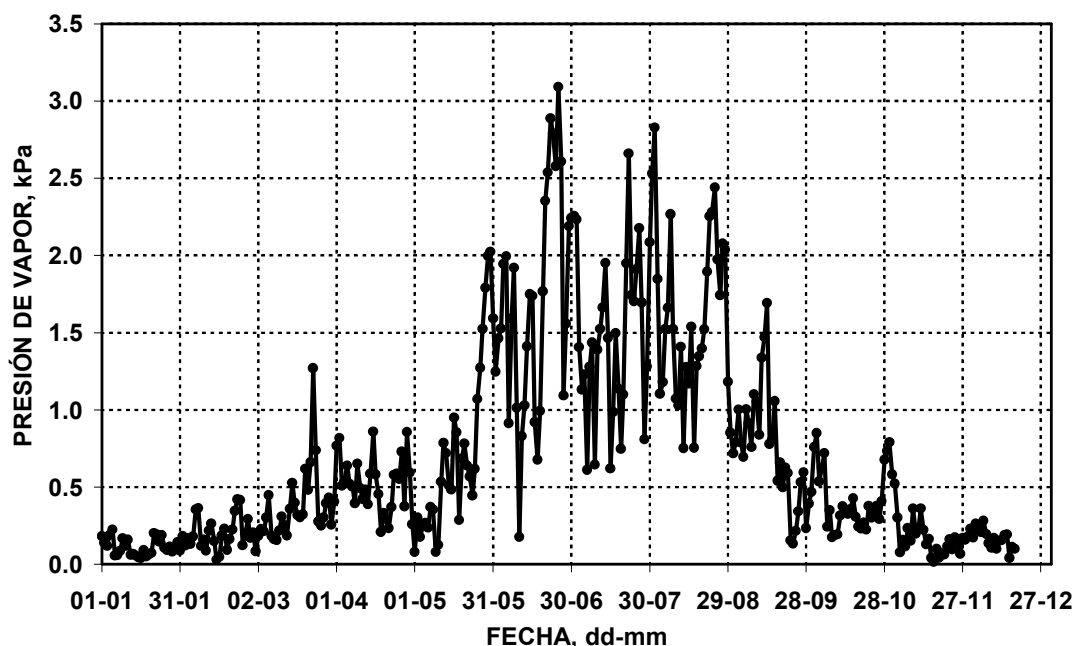


Figura 7. Evolución del déficit de presión de vapor (media diaria) a lo largo de 2001.

5.1.4. Radiación solar global, radiación neta y flujo de calor en el suelo

El Cuadro 11 lista los valores medios mensuales de radiación solar global, radiación neta y flujo de calor en el suelo. Los valores más altos de radiación solar global se registraron en julio, en 2000, y en junio, en 2001. No obstante, las diferencias entre junio y julio fueron pequeñas en ambos años. Los meses de invierno, lógicamente, registraron los valores más bajos de radiación solar. La radiación neta mostró un patrón muy similar al de la radiación solar global. Este comportamiento es de esperar ya que ésta es el principal componente del balance de radiación. Por su parte, los valores de flujo de calor en el suelo fueron, en promedio, próximos a 0 en todos los meses. Este componente del balance de energía representa en general una parte bastante pequeña de dicho balance. No obstante, en ambos años, los promedios mensuales de flujo de calor fueron positivos durante la primavera y verano, indicando un cierto calentamiento del suelo, mientras que en otoño e invierno fueron negativos indicando un cierto enfriamiento del suelo.

Usando los valores medidos de radiación solar global, se estimaron valores diarios de insolación (horas) por mes, tal como se describe en Allen et al. (1998). Estas estimas indican que el número total de horas de insolación registrado en el año exacto transcurrido entre el 16 de febrero de 2000 y 15 de febrero de 2001 fue de 2757, aproximadamente el 63 % del total de horas máximas posibles de insolación para la latitud de Gallocanta, calculadas según se describe en Allen et al. (1998). En el período de 16 de febrero a 30 de noviembre de ambos años, el número total de horas de insolación fue de 2448 (en 2000) y 2473 (en 2001) horas.

Cuadro 11. Valores medios mensuales de las medias diarias de la radiación solar global (R_{sol}), la radiación neta (R_{net}) y el flujo de calor en el suelo (G).

Mes	2000			2001		
	R_{sol} (W m ⁻²)	R_{net} (W m ⁻²)	G (W m ⁻²)	R_{sol} (W m ⁻²)	R_{net} (W m ⁻²)	G (W m ⁻²)
Enero				70.0	21.8	-1.9
Febrero ^(a)	166.2	47.8	0.8	130.1	45.3	-2.2
Marzo	187.0	68.7	-0.3	165.9	74.3	2.2
Abril	184.4	88.2	0.4	238.6	107.2	0.6
Mayo	239.5	126.1	4.3	247.8	124.5	4.3
Junio	308.4	156.4	3.4	323.7	147.5	4.7
Julio	309.0	145.1	3.0	285.0	130.4	3.9
Agosto	266.9	113.7	2.1	253.0	114.3	2.8
Septiembre	215.3	87.7	-0.6	210.1	94.3	-0.5
Octubre	131.4	53.3	-2.8	134.5	64.7	-1.9
Noviembre	87.5	38.4	-3.7	99.2	30.3	-4.7
Diciembre	68.9	14.8	-3.4			

^(a) Sólo 14 días disponibles.

5.1.5. Velocidad y dirección del viento

El Cuadro 12 lista valores medios mensuales de la velocidad media diaria y rachas máximas del viento en cada mes estudiado. En los meses de mayo a octubre de ambos años, la velocidad media mensual del viento fue claramente menor que la registrada en los otros meses. En 2000, la mayor media mensual de velocidad de viento se registró en abril (4.3 m s⁻¹); en 2001, en marzo (4.7 m s⁻¹). Las frecuencias relativas de distintos rangos de velocidad diaria de viento fueron: 0.3 a 2.0 m s⁻¹, 23.1 %; 2.0 a 3.5 m s⁻¹, 43.7 %; 3.5 a 5.0 m s⁻¹, 18.3 %; más de 5.0 m s⁻¹, 14.8 %.

Cuadro 12. Valores medios mensuales de la velocidad media diaria del viento (VV_{med}) y rachas máximas ($VVMx$) registradas en cada mes en Gallocanta.

Mes	2000		2001	
	VV_{med} (m s ⁻¹)	$VVMx$ (m s ⁻¹)	VV_{med} (m s ⁻¹)	$VVMx$ (m s ⁻¹)
Enero			4.3	18.4
Febrero ^(a)	2.8	16.0	3.5	21.1
Marzo	2.9	16.0	4.7	21.9
Abril	4.3	17.8	4.0	17.6
Mayo	2.3	15.3	2.6	12.6
Junio	3.1	16.7	2.7	13.1
Julio	3.2	14.4	2.9	14.6
Agosto	3.0	21.7	2.8	20.3
Septiembre	2.3	19.3	2.4	12.2
Octubre	2.9	17.1	2.7	13.8
Noviembre	4.0	18.3	3.2	22.3
Diciembre	3.7	21.8		

^(a) Sólo 14 días disponibles.

Las rachas máximas de viento registradas en 2001 fueron algo mayores que en 2000. En este año, sólo las rachas máximas de agosto y diciembre superaron 20 m s^{-1} ; pero en 2001, este evento ocurrió en febrero, marzo, agosto y noviembre. Las frecuencias relativas de rangos de rachas máximas diarias fueron: menores de 10 m s^{-1} , 55.7 %; 10 a 15 m s^{-1} , 36.5 %; mayor de 20 m s^{-1} , 1.2 %.

La Figura 8 muestra las rosas de los vientos de las direcciones de viento semihorarias registradas en el período de estudio. Los datos se agruparon en cinco grupos: a) vientos flojos (velocidad entre 0.3 y 2.0 m s^{-1}); b) vientos moderados débiles (velocidad entre 2.0 y 3.5 m s^{-1}); c) vientos moderados fuertes (velocidad entre 3.5 y 5.0 m s^{-1}); d) vientos fuertes (velocidad mayor de 5.0 m s^{-1}); e) todas las semihoras agrupadas. Las semihoras con vientos en calma (velocidad de viento menor de 0.3 m s^{-1}) fueron el 1.9 % de todos los períodos semihorarios. La Figura 8 muestra que los vientos predominantes para vientos flojos o moderados débiles fueron los de dirección NO aunque los de dirección SE también fueron relativamente importantes. Para vientos moderados fuertes o fuertes los vientos de NO también fueron predominantes pero los vientos de dirección SE se redujeron considerablemente siendo los vientos de dirección O ahora más frecuentes.

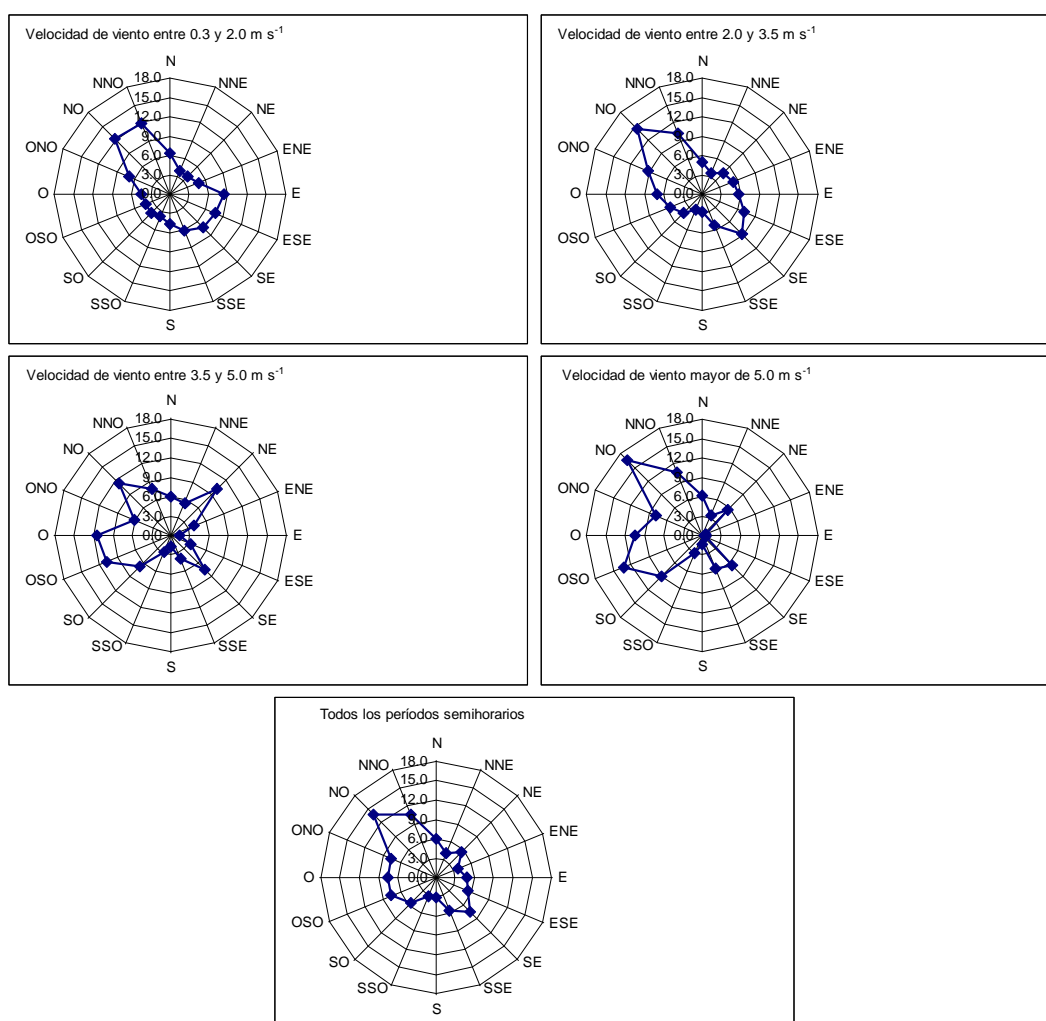


Figura 8. Rosas de los vientos para Gallocanta y distintos rangos de viento.

5.2. Calibración y validación del método de la renovación de la superficie

5.2.1. Calibración y validación preliminar: comparación con el método de covarianza de torbellinos

Como se comentó en la sección 4.4, durante el período 25 de julio (12:00 GMT) a 4 de agosto (10:30 GMT) se instaló un equipo de covarianza de torbellinos para registrar valores semihorarios medidos de flujo de calor sensible (H_{EC}). Estos valores se compararon con los obtenidos con el método de la renovación de la superficie (H_{sr}) para tres alturas diferentes ($z = 1.4, 1.1$ y 0.9 m) y dos intervalos de tiempo r [ecuación (5)]: a) *largo*, $r = 0.5$ s para $z = 1.4$ m; $r = 0.75$ s para $z = 1.1$ y 0.9 m; y b) *corto*, $r = 0.25$ s para $z = 1.4$ m; $r = 0.375$ s para $z = 1.1$ y 0.9 m (Zapata y Martínez Cob, 2001). La Figura 9 muestra la evolución diaria de los valores de H_{EC} y H_{sr} para el intervalo de tiempo largo y para las tres alturas de medida. Se observa que las tendencias entre ambos métodos fueron similares pero que la similitud entre H_{EC} y H_{sr} aumentó con la disminución de la altura de medida. Los resultados fueron parecidos en el caso del intervalo de tiempo corto aunque las diferencias entre H_{EC} y H_{sr} fueron algo mayores.

Una comparación más detallada se realizó dividiendo los valores semihorarios en dos grupos: a) subconjunto de calibración: 25 (12:00 GMT) a 30 de julio (11:30 GMT); y b) 30 de julio (12:00 GMT) a 4 de agosto (10:30 GMT). El Cuadro 13 muestra los resultados de regresión lineal ($y = c x$) obtenidos con el subconjunto de calibración. La pendiente de regresión más próxima a 1.0 fue la correspondiente al intervalo de tiempo largo y altura de medida menor ($z = 0.9$ m). Recuérdese que estas pendientes de regresión representan los coeficientes de ponderación α de la ecuación (4). Estos coeficientes de ponderación α se alejaron de 1.0 a medida que la altura de medida aumentó o que el intervalo de tiempo r disminuyó. En consonancia con estos resultados, los valores de IA más altos y los valores de $RMSE$ más bajos se obtuvieron también para el caso de intervalo de tiempo largo y altura de medida menor (Figura 10). Zapata y Martínez Cob (2001) discuten en mayor profundidad estos resultados.

Con el fin de validar los resultados del Cuadro 13, los valores de α obtenidos en cada caso se aplicaron en el subconjunto de datos de validación. La Figura 11 muestra los correspondientes valores de IA y $RMSE$. Se observa que las diferencias entre los distintos casos considerados fueron mínimas lo que indica que la aplicación de los coeficientes de calibración obtenidos fue adecuada y mejoró sustancialmente las estimas de H en todos los casos. No obstante, los mejores resultados se obtuvieron también en el caso de la altura de medida menor ($z = 0.9$ m) y el intervalo de tiempo largo.

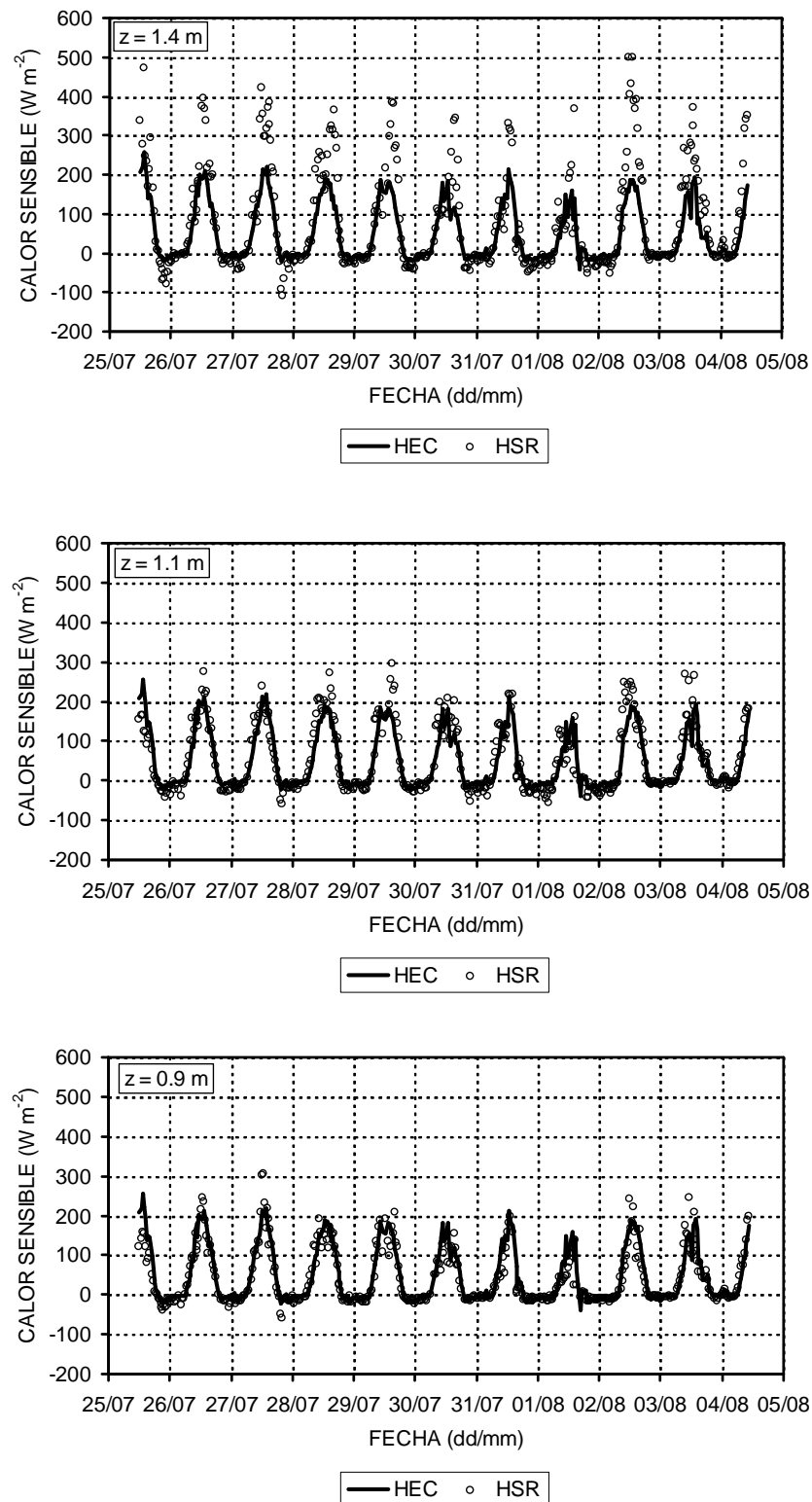


Figura 9. Evolución diaria del flujo de calor sensible medido (covarianza de torbellinos, H_{EC}) y estimado (renovación de la superficie, H_{sr}) para el intervalo de tiempo largo y tres alturas de medida ($r = 0.50$ s for $z = 1.4$ m; $r = 0.75$ s para $z = 1.1$ y 0.9 m).

Cuadro 13. Regresiones lineales simples entre H_{EC} (variable dependiente) y H_{SR} (variable independiente) calculadas para el subconjunto de calibración ($n = 215$), para diferentes intervalos de tiempo y alturas de medida.

Intervalo de tiempo	Pendientes de regresión			Coeficientes de determinación		
	Altura de medida (m)			Altura de medida (m)		
	0.9	1.1	1.4	0.9	1.1	1.4
Corto ²	0.778	0.657	0.453	0.873	0.863	0.786
Largo ³	0.999 ¹	0.851	0.583	0.871	0.854	0.811

¹ No significativamente diferente de 1 (nivel de significación, 0.95).

² 0.25 s para $z=1.4$ m, 0.375 s para $z=1.1$ y 0.9 m.

³ 0.50 s para $z=1.4$ m, 0.75 s para $z=1.1$ y 0.9 m.

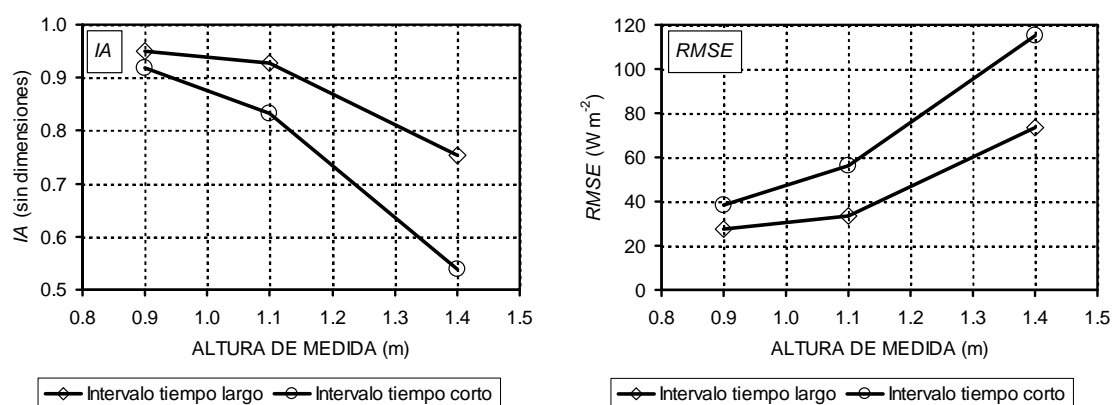


Figura 10. Estadísticos del análisis de errores de los valores de H_{SR} obtenidos para el subconjunto de calibración ($n = 215$) en función de la altura de medida y del intervalo de tiempo. IA , índice de similitud; $RMSE$, error cuadrático medio. Intervalo de tiempo largo: 0.50 s para $z = 1.4$ m; 0.75 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. Intervalo de tiempo corto: 0.25 s para $z = 1.4$ m; 0.375 s para $z = 1.1$ y 0.9 m.

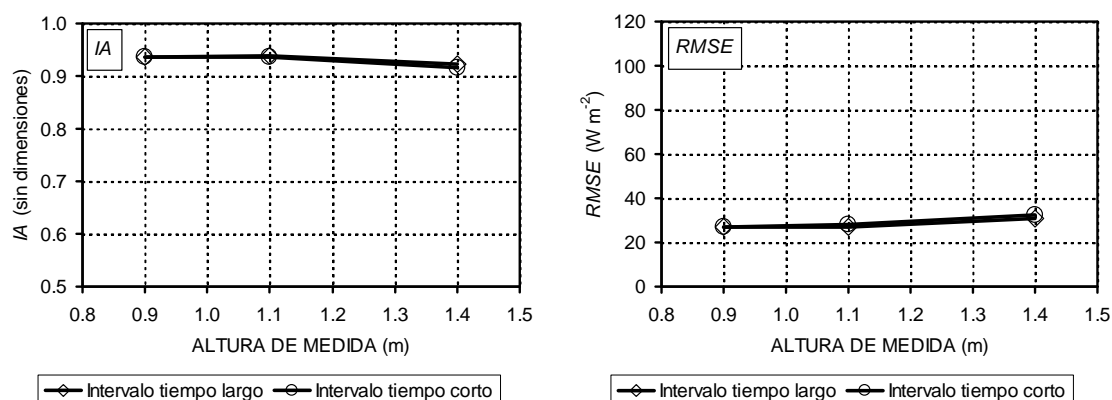


Figura 11. Estadísticos del análisis de errores de los valores de H_{SR} obtenidos para el subconjunto de validación ($n = 219$) en función de la altura de medida y del intervalo de tiempo. IA , índice de similitud; $RMSE$, error cuadrático medio. Intervalo de tiempo largo: 0.50 s para $z = 1.4$ m; 0.75 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. Intervalo de tiempo corto: 0.25 s para $z = 1.4$ m; 0.375 s para $z = 1.1$ y 0.9 m.

Los valores de calor latente obtenidos con ambos métodos resolviendo la ecuación (1) también se compararon entre sí para el subconjunto de validación. La Figura 12 indica los excelentes valores de IA obtenidos en todos los casos. No se muestran los resultados de $RMSE$ porque, lógicamente, fueron los mismos que los obtenidos para el flujo de calor sensible. En definitiva, los resultados obtenidos con el equipo de covarianza de torbellinos sugieren que las mejores estimas de H con el método de la renovación de la superficie, para las condiciones de este trabajo, se obtuvieron con medidas a 0.9 m del suelo y con intervalo de tiempo largo.

Los Cuadros 1 a 3 indican que las alturas de medida y los intervalos de tiempo utilizados en este estudio han sido diferentes en distintos períodos de tiempo. En el período 25 de julio a 30 de julio no se obtuvieron coeficientes de calibración para todos estos posibles casos. Para obtener aquéllos no incluidos en el Cuadro 13, se partió del hecho de que los cocientes entre dos coeficientes de ponderación α para dos alturas de medida diferentes pero igual intervalo de tiempo r son similares (Spano et al., 2000; Zapata y Martínez Cob, 2001). Y lo mismo ocurre con los cocientes entre dos coeficientes de ponderación α para dos intervalos de tiempo r diferentes pero igual altura de medida. El Cuadro 14 lista los coeficientes de ponderación α utilizados en este trabajo en todos los períodos considerados. Recuérdese que estos coeficientes transforman los valores de H_{sr} obtenidos originalmente en cada caso (con $\alpha = 1.0$) a valores de H_{sr} equivalentes a una altura $z = 0.9$ m y un intervalo de tiempo $r = 0.75$ s, por ser éste el caso en que $\alpha = 1.0$.

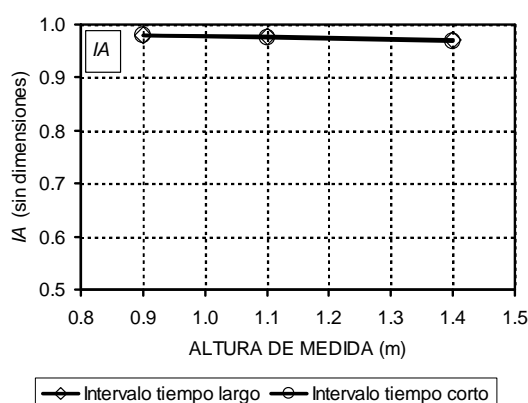


Figura 12. Índices de similitud (IA) para los valores de LE_{SR} obtenidos para el subconjunto de validación ($n = 219$) en función de la altura de medida y del intervalo de tiempo. Intervalo de tiempo largo: 0.50 s para $z = 1.4$ m; 0.75 s para $z = 1.1$ y 0.9 m. Intervalo de tiempo corto: 0.25 s para $z = 1.4$ m; 0.375 s para $z = 1.1$ y 0.9 m.

Cuadro 14. Coeficientes de ponderación α utilizados en distintos períodos en función de la altura de medida z y el intervalo de tiempo r .

Período	z (m)	r (s)	Termopar núm.			
			1	2	3	4
6 de marzo (8:00) a 30 de mayo (11:30) de 2000	1.4	0.75	0.752	0.752		
		0.25	0.453	0.453		
30 de mayo (12:00) a 8 de junio (9:00) de 2000 ^(a)	1.4	0.5625		0.625		
		0.1875		0.428		
8 de junio (9:30) a 17 de julio (15:00) de 2000	1.4	0.75	0.752	0.752		
		0.25	0.453	0.453		
17 de julio (15:30) a 25 de julio (11:30) de 2000 ^(a)	1.4	0.50		0.583		
		0.25		0.453		
25 de julio (12:00) a 4 de agosto (10:30) de 2000 ^{(a)(b)}	1.4	0.50		0.583		
		0.25		0.453		
	1.1	0.75				0.851
		0.375				0.657
	0.9	0.75			0.999	
		0.375			0.778	
4 de agosto (11:00) a 7 de septiembre (8:00) de 2000	1.4	0.75	0.752	0.752		
		0.375	0.518	0.518		
7 de septiembre (8:30) de 2000 a 20 de marzo (10:30) de 2001	0.9	0.75	0.999	0.999		
		0.375	0.778	0.778		
20 de marzo (11:00) a 30 de noviembre (24:00) de 2001	1.4	0.75	0.752			
		0.375	0.518			
	0.9	0.75		0.999		
		0.375		0.778		

^(a) Se instaló además un equipo de covarianza de torbellinos (secciones 3.2 y 5.2.1).

^(b) Se instaló además un acumulador de datos adicional con dos termopares.

5.2.2. Comparación de las estimas obtenidas con el método de renovación de la superficie a distintas alturas e intervalos de tiempo

Una vez efectuada la calibración preliminar del método de renovación de la superficie mediante su comparación con el método de covarianza de torbellinos (sección 5.2.1), se procedió a la comparación de las diferentes estimas de H_{sr} y LE_{sr} obtenidas para distintas alturas e intervalos de tiempo r (Cuadros 1 a 3). En esta comparación se descartaron las estimas obtenidas entre el 27 de noviembre de 2000 (20:30 GMT) y 20 de marzo de 2001 (11:00 GMT) y entre 23 de julio (1:00 GMT) y 30 de noviembre de 2001 (24:00 GMT). Todas las estimas de H_{sr} obtenidas en estos dos períodos fueron prácticamente igual a 0 W m^{-2} , valores que se consideraron obviamente erróneos. La causa fue que los valores de las funciones de estructura $S^n(r)$ [ecuación (5)] registrados por el equipo acumulador de datos GALLOCA2 fueron bastante más bajos que los registrados en otros períodos. No se puede explicar con certeza la causa de este problema. Se descarta que se debiera a un error de programación ya que no hubo cambios en el programa GALLOCA2 ni el 27 de noviembre de 2000 ni el 23 de julio de 2001. En estas dos fechas, a las 20:30 y

1:00 GMT, respectivamente, se produjeron llamadas telefónicas automáticas a la estación meteorológica para la correspondiente recopilación de datos. Probablemente durante esta llamada se produjo alguna interferencia que “introdujo” algún “ruido” en el equipo acumulador de datos GALLOCA2 y que ocasionó que los valores registrados de $S''(r)$ fueran demasiado bajos. Este “ruido” no alteró los registros de la temperatura media del aire con los termopares TCBR y por eso el problema no se detectó en su momento. El 20 de marzo de 2001 a las 11:00 se reprogramó la estación GALLOCA2 para incluir el registro de la desviación estándar de la temperatura del aire y el problema se arregló temporalmente aunque sin tener conocimiento real de que tal problema había existido. Por razones desconocidas, el problema surgió de nuevo el 23 de julio a la 1:00 y no se conoció el mismo hasta después del 30 de noviembre de 2001.

Por consiguiente, la comparación de las estimas de H_{sr} y LE_{sr} , obtenidas para distintas alturas de medida e intervalos de tiempo, se realizó sólo para los cinco períodos listados en el Cuadro 15. Primero, se compararon las estimas originales obtenidas con $\alpha = 1.0$. Luego, se compararon las estimas obtenidas utilizando los coeficientes de ponderación α listados en el Cuadro 14. En ambos casos, se compararon las estimas semihorarias y las diarias obtenidas promediando las estimas semihorarias. Las Figuras 13 y 14 muestran los coeficientes de determinación, pendientes de regresión ($y = c x$) e índices de similitud obtenidos en los cinco períodos del Cuadro 15 cuando se compararon las estimas semihorarias y diarias originales de H_{sr} obtenidas a distintas alturas de medida (z) e intervalos de tiempo (r). Se compararon las estimas obtenidas a distintas alturas de medida para un mismo intervalo de tiempo y las obtenidas a distintos intervalos de tiempo para una misma altura de medida. Los resultados indican que las estimas fueron diferentes al variar z o r . Cuando las medidas se hicieron a la misma altura, las mayores diferencias se observaron entre intervalos de tiempo, no entre termopares. Pero cuando las medidas se hicieron a diferentes alturas (período 5), las diferencias entre termopares fueron algo mayores que entre intervalos de tiempo.

Cuadro 15. Períodos en los que se compararon las estimas de H_{sr} y LE_{sr} , obtenidas para distintas alturas de medida (z) e intervalos de tiempo (r).

Núm. de período	Período		Termopar 1		Termopar 2	
1	6 de marzo (8:00) a 31 de mayo (11:30) de 2000	z (m)	1.4	1.4	1.4	1.4
		r (s)	0.75	0.25	0.75	0.25
2	8 de junio (10:00) a 17 de julio (15:00) de 2000	z (m)	1.4	1.4	1.4	1.4
		r (s)	0.75	0.25	0.75	0.25
3	4 de agosto (11:00) a 7 de septiembre (8:30) de 2000	z (m)	1.4	1.4	1.4	1.4
		r (s)	0.75	0.25	0.75	0.25
4	7 de septiembre (9:00) a 27 de noviembre (20:00) de 2000	z (m)	0.9	0.9	0.9	0.9
		r (s)	0.75	0.375	0.75	0.375
5	20 de marzo (12:00) a 22 de julio (24:00) de 2001	z (m)	1.4	1.4	0.9	0.9
		r (s)	0.75	0.375	0.75	0.375

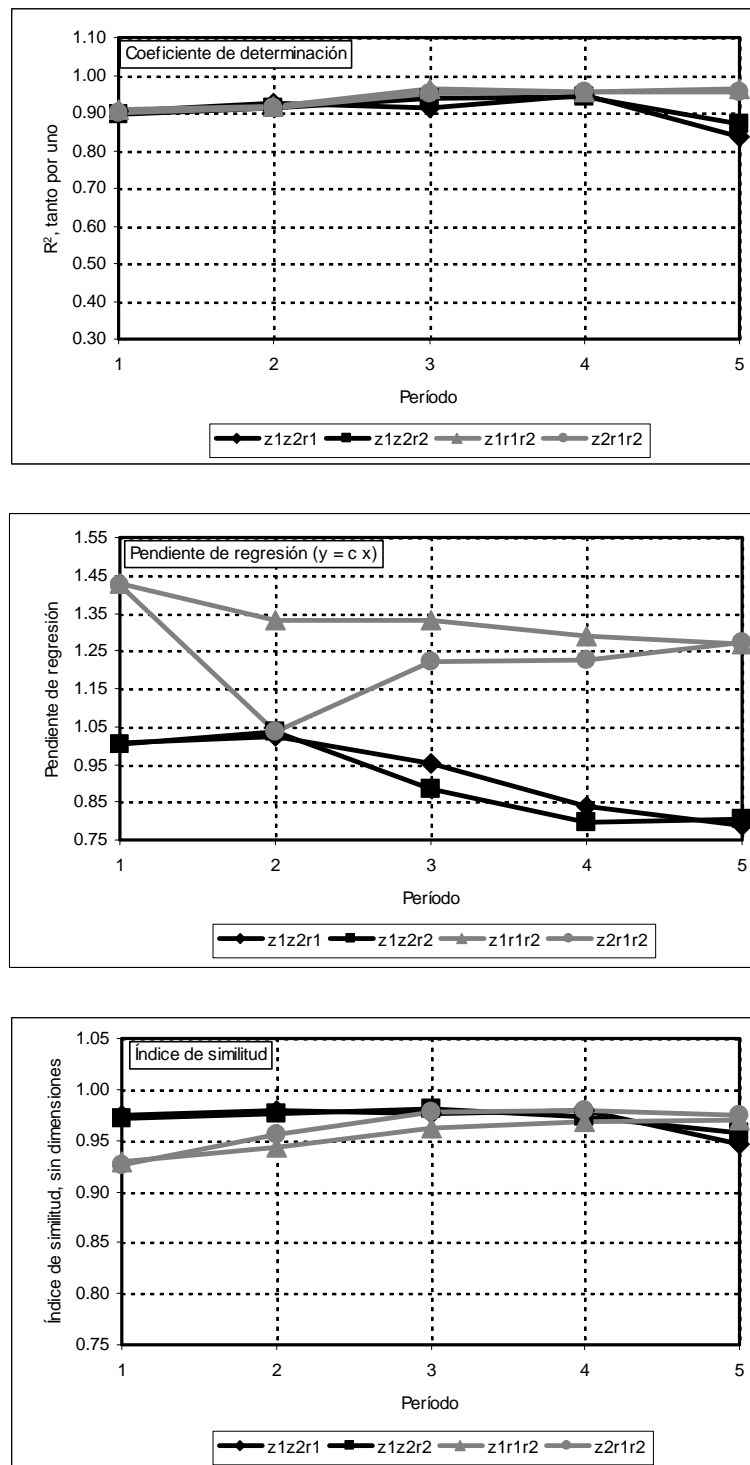


Figura 13. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas semihorarias originales de H_{sr} ($\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

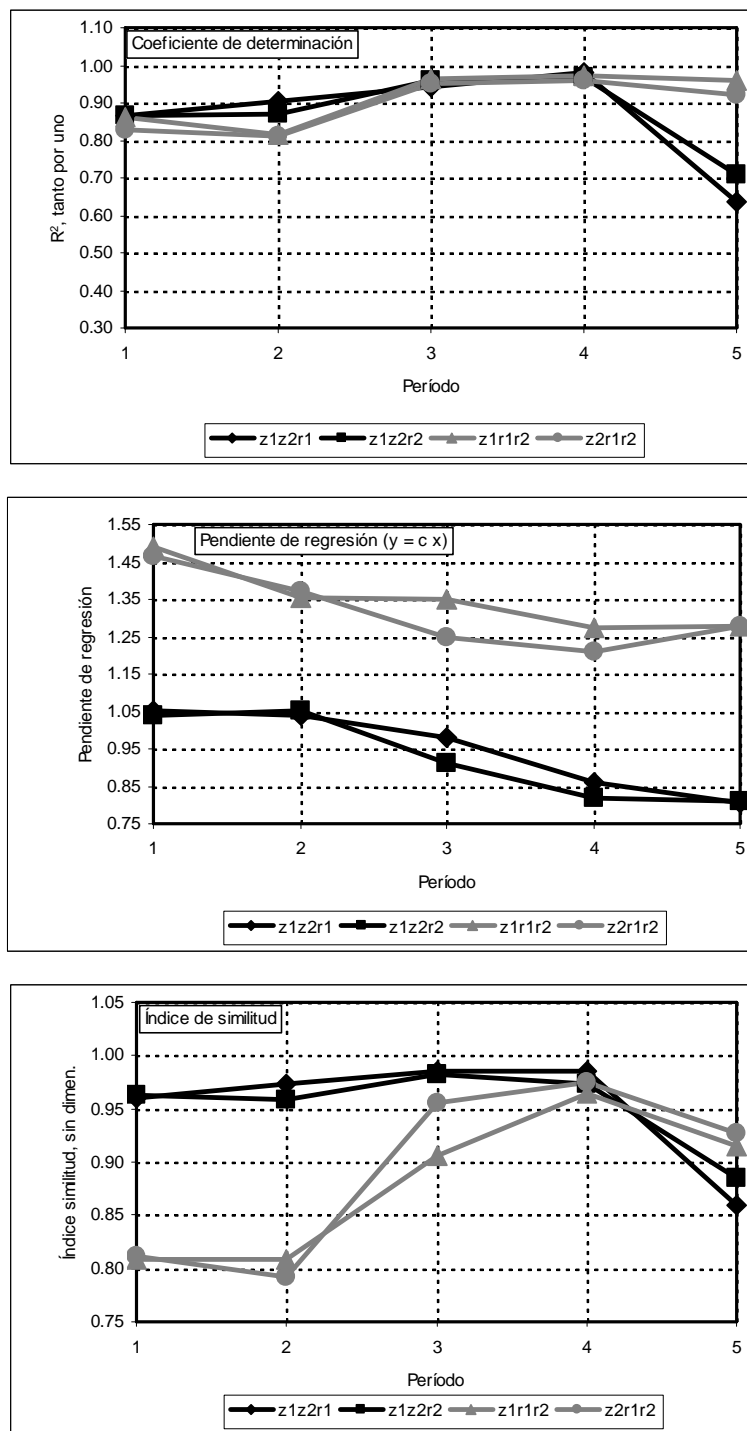


Figura 14. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas diarias originales de H_{sr} ($\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

Las Figuras 15 y 16 muestran los coeficientes de determinación, pendientes de regresión ($y = c x$) e índices de similitud obtenidos en los cinco períodos del Cuadro 15 cuando se compararon las estimas semihorarias y diarias calibradas de H_{sr} obtenidas a distintas alturas de medida (z) e intervalos de tiempo (r). En este caso, se observó mayor similitud entre los distintos conjuntos de estimas aunque aún se obtuvieron ciertas diferencias, particularmente en el caso de las estimas diarias. Estos resultados indican que los coeficientes de ponderación α del Cuadro 14 no fueron igualmente válidos en períodos diferentes, es decir que esos coeficientes se vieron afectados por las condiciones meteorológicas de cada período. No obstante, la sensibilidad de las estimas de LE_{sr} a errores en las estimas de H_{sr} no es muy grande, particularmente en situaciones en que el calor sensible es un componente relativamente pequeño del balance de energía, como cuando la disponibilidad de agua para el proceso de evaporación es relativamente importante (Zapata y Martínez Cob, 2002).

Las Figuras 17 y 18 muestran los coeficientes de determinación, pendientes de regresión ($y = c x$) e índices de similitud obtenidos en los cinco períodos del Cuadro 15 cuando se compararon las estimas semihorarias y diarias originales de LE_{sr} obtenidas a distintas alturas de medida (z) e intervalos de tiempo (r). Los resultados fueron parecidos a los observados en el caso de las estimas originales de H_{sr} . Es decir, se observaron diferencias entre los dos intervalos de tiempo y, en el período 5, también se observaron diferencias apreciables entre termopares pues las alturas de medida fueron diferentes.

Las Figuras 19 y 20 muestran los coeficientes de determinación, pendientes de regresión ($y = c x$) e índices de similitud obtenidos en los cinco períodos del Cuadro 15 cuando se compararon las estimas semihorarias y diarias calibradas de LE_{sr} obtenidas a distintas alturas de medida (z) e intervalos de tiempo (r). Los resultados indican que, ahora, las diferencias entre los distintos casos comparados en los cinco períodos analizados fueron bastante menores. Esta mejora de la similitud entre los distintos conjuntos de estimas fue mayor que en el caso de H_{sr} como era de esperar debido a lo comentado anteriormente sobre la relativa falta de sensibilidad de las estimas de LE_{sr} a errores en las estimas de H_{sr} .

En definitiva, los resultados de las Figuras 19 y 20 sugieren que la calibración utilizada en las estimas de H_{sr} (Cuadro 14), si bien no es estrictamente adecuada para todos los períodos analizados, permite mejorar sustancialmente la similitud entre los cuatro conjuntos de estimas de LE_{sr} (dos alturas de medida y dos intervalos de tiempo) obtenidos a lo largo de dichos períodos. La Figura 21 ilustra quizás mejor esta situación. En ella se presentan los promedios de LE_{sr} obtenidos a partir de las estimas semihorarias y diarias, originales y calibradas. En el caso de las estimas originales, los promedios de las dos alturas de medida para un mismo intervalo de tiempo son muy parecidos pero se observan diferencias evidentes entre los promedios de los dos intervalos de tiempo para una misma altura de medida. Sin embargo, en el caso de las estimas calibradas, todos los promedios son bastante similares en todos los períodos. Por tanto, los coeficientes de ponderación α (Cuadro 14), aunque no sean estrictamente adecuados en todos los períodos, conducen a que los diferentes conjuntos de estimas sean muy parecidos entre sí.

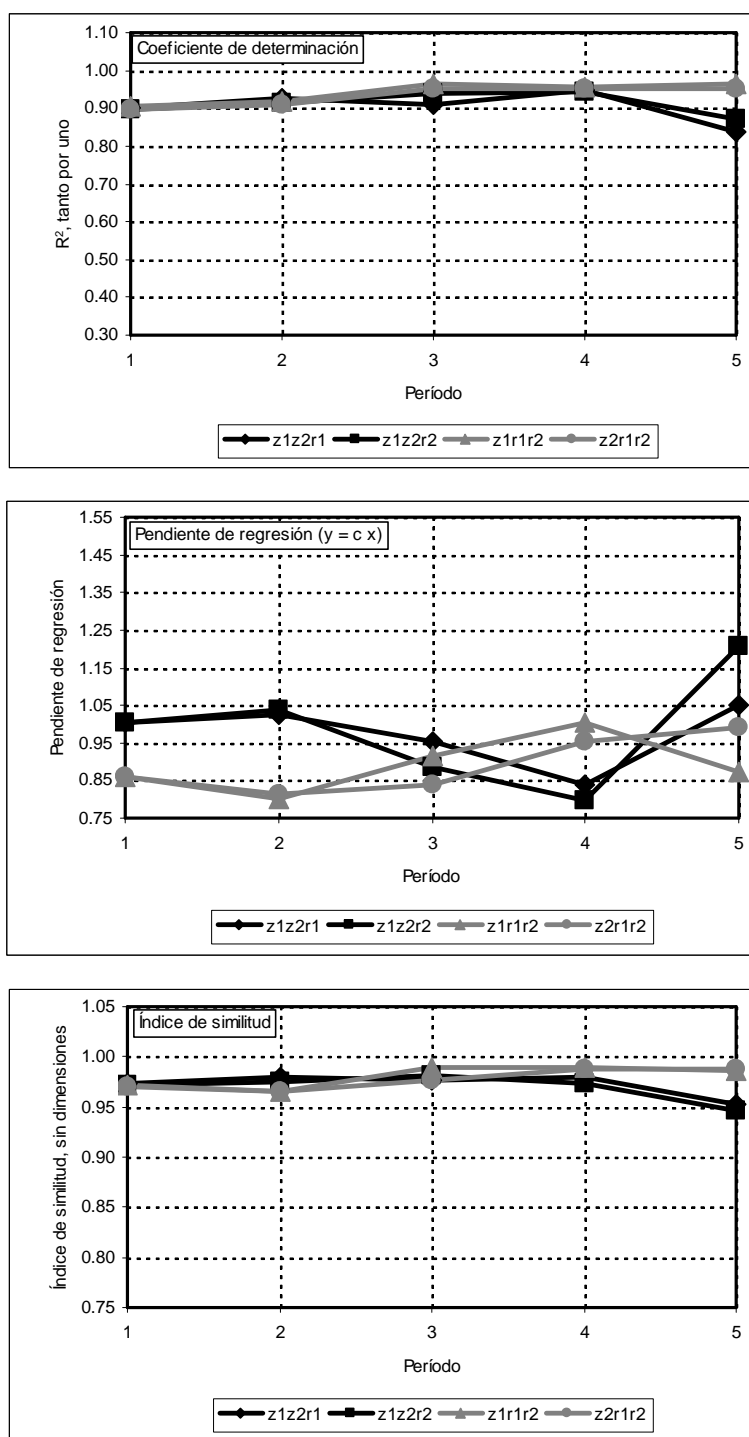


Figura 15. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas semihorarias calibradas de H_{sr} (Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

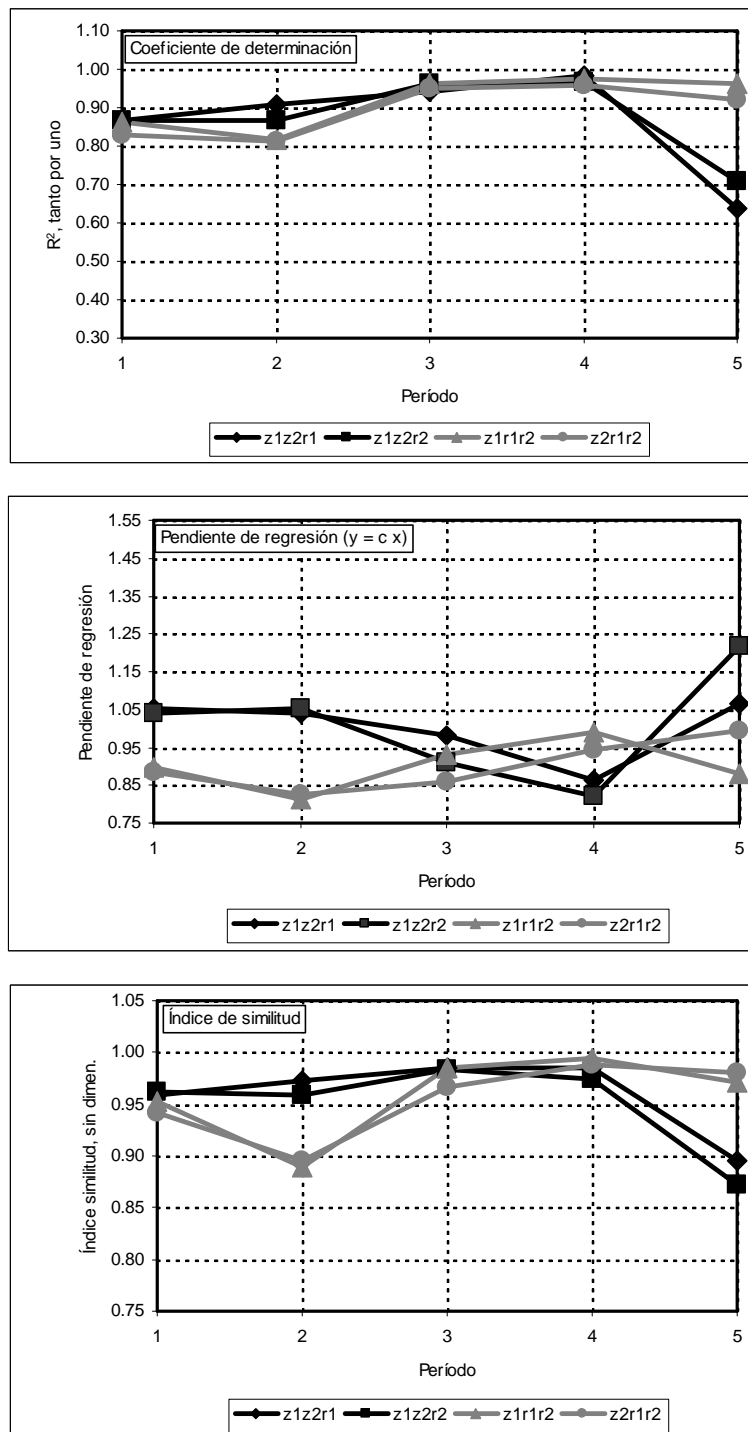


Figura 16. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión e índices de similitud de las comparaciones entre estimas diarias calibradas de H_{sr} (Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

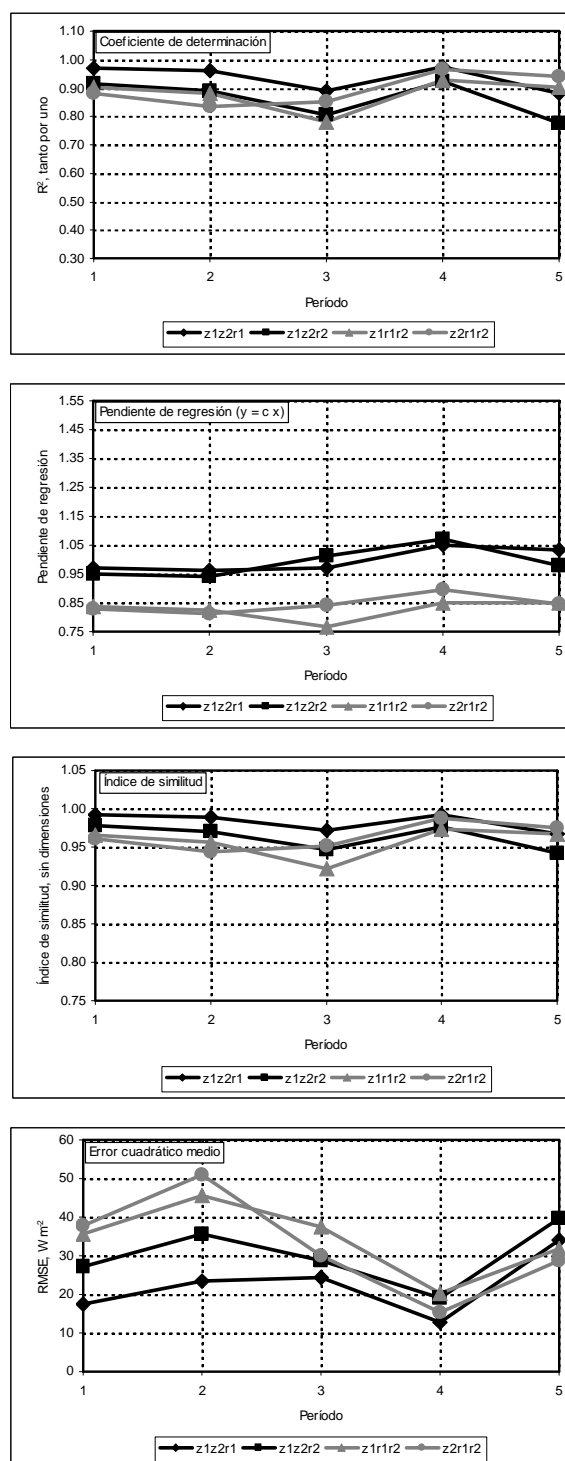


Figura 17. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas semihorarias originales de LE_{sr} (H_{sr} calculada con $\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

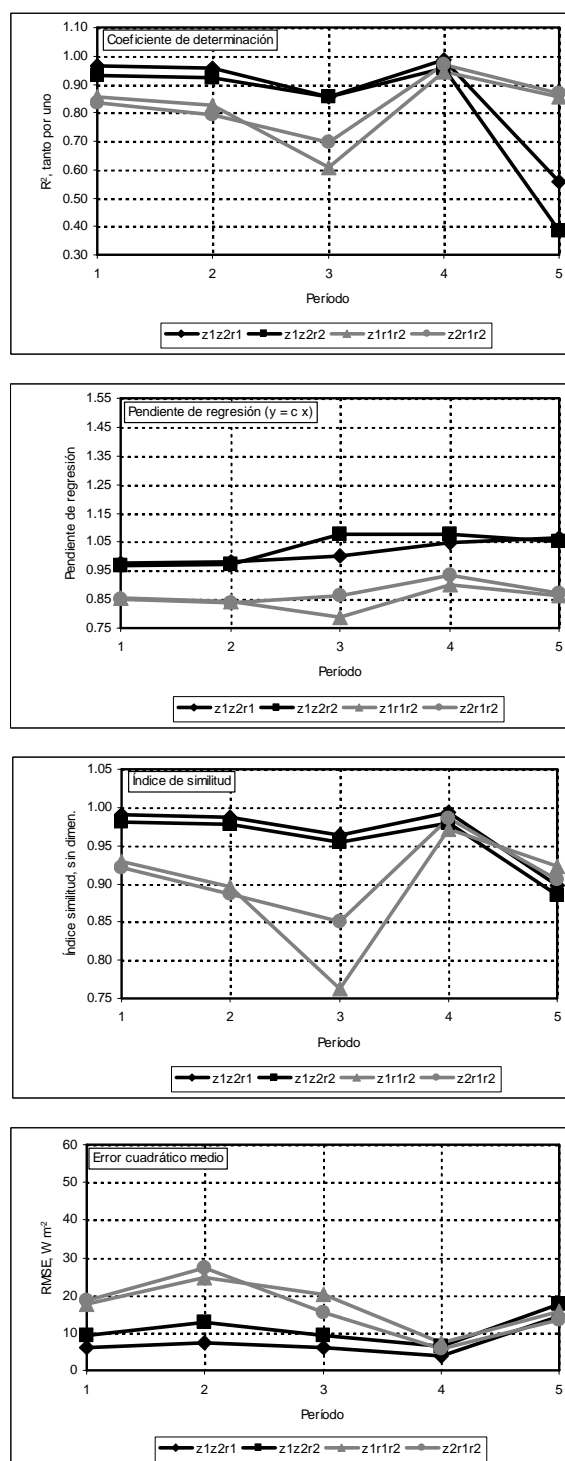


Figura 18. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas diarias originales de LE_{sr} (H_{sr} calculada con $\alpha = 1.0$) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

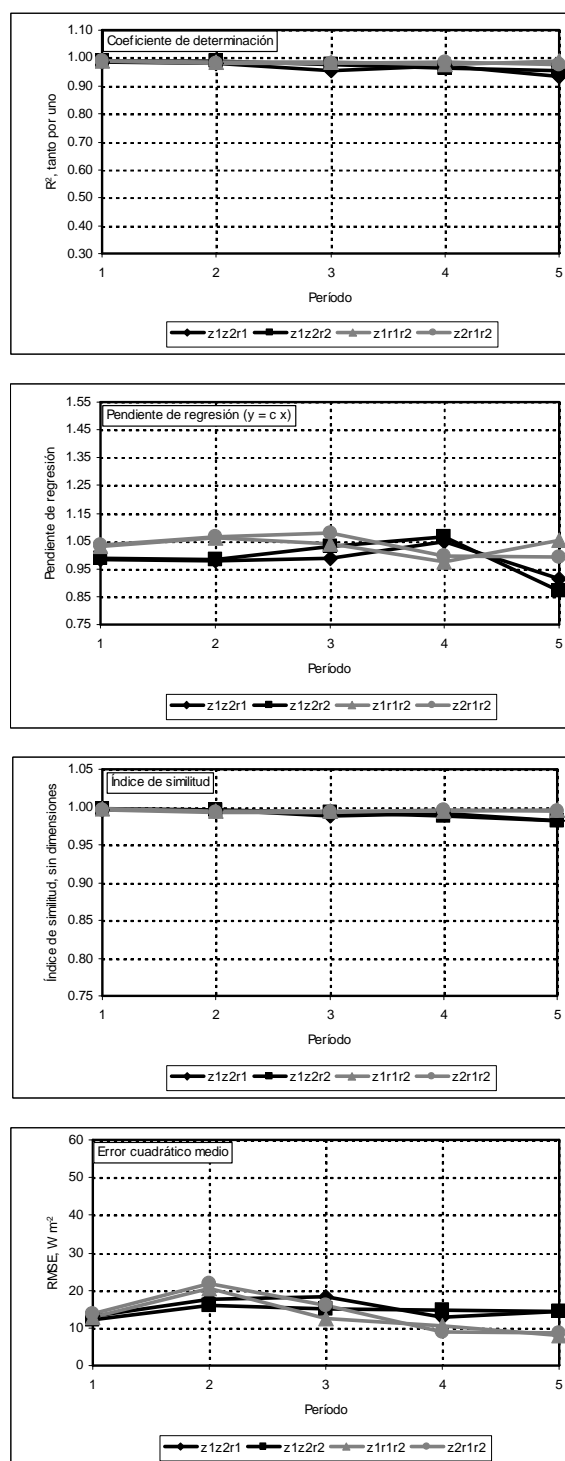


Figura 19. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas semihorarias calibradas de LE_{sr} (a partir de estimas de H_{sr} calibradas, Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

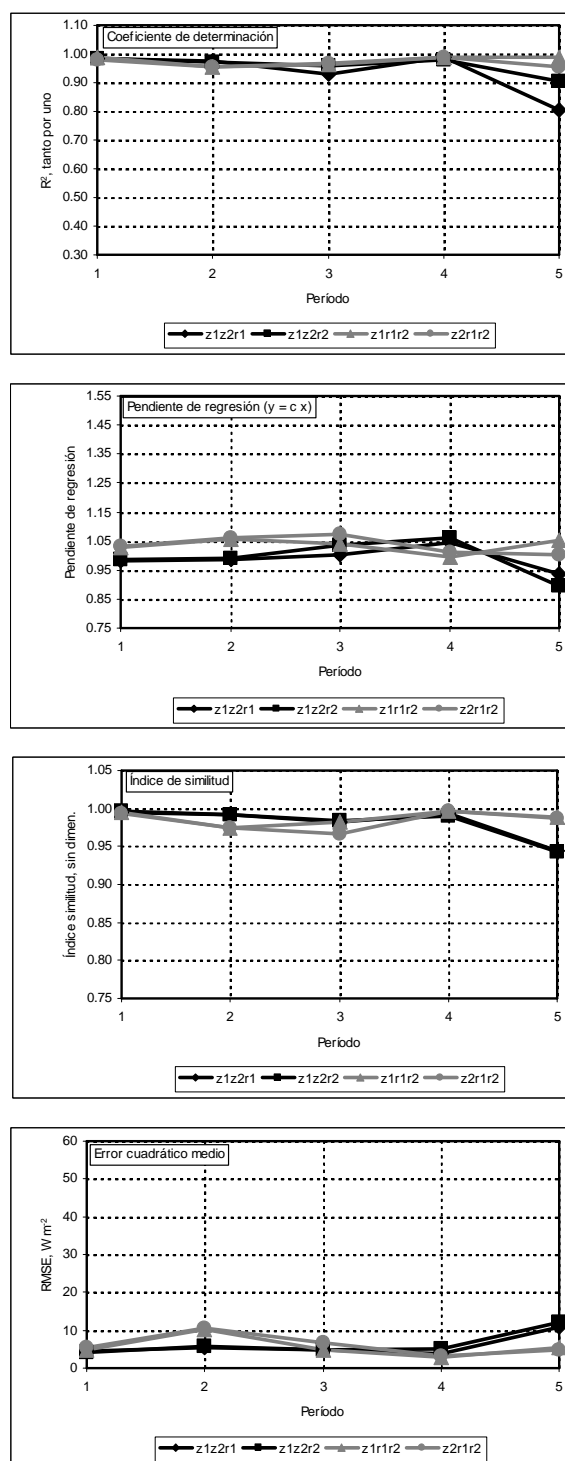


Figura 20. Coeficientes de determinación, pendientes de regresión, índices de similitud y errores cuadráticos medios de las comparaciones entre estimas diarias calibradas de LE_{sr} (a partir de estimas de H_{sr} calibradas, Cuadro 14) obtenidas en cinco períodos distintos para diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo (Cuadro 15). Comparaciones entre: a) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo largo $r1$ ($z1z2r1$); b) dos alturas de medida para el intervalo de tiempo corto $r2$ ($z1z2r2$); c) dos intervalos de tiempo para la altura $z1$ ($z1r1r2$); d) dos intervalos de tiempo para la altura $z2$ ($z2r1r2$).

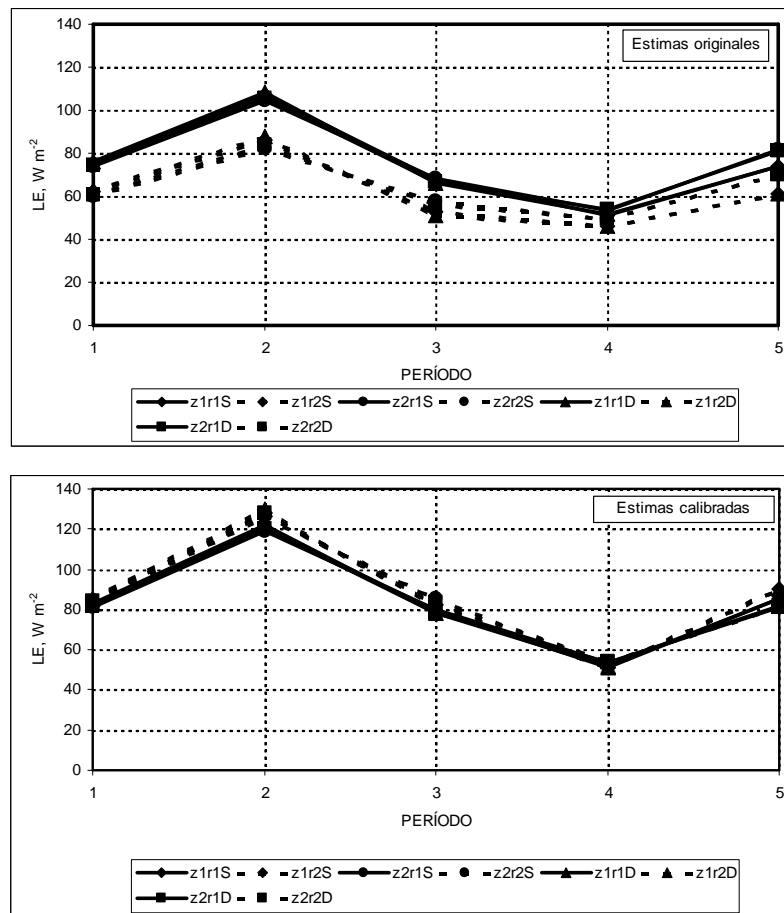


Figura 21. Promedios, en los cinco períodos analizados, de las estimas, semihorarias (S) o diarias (D), de LE_{sr} obtenidas para dos alturas de medida (z1 y z2) y dos intervalos de tiempo (r1 y r2) (Cuadro 15) a partir de las estimas originales o calibradas de H_{sr} .

Hay que tener en cuenta que el procedimiento de Van Atta (1977) para estimar los parámetros a y $l+s$ que caracterizan las fluctuaciones de temperatura [ecuaciones (5) a (9)] no permite obtener siempre una estima de H_{sr} ya que el valor estimado de $l+s$ debe ser mayor que $5r$. Este problema suele ocurrir más frecuentemente en períodos nocturnos. Además, y por fortuna, este problema no suele ocurrir simultáneamente en los dos termopares y en los dos intervalos de tiempo r [ecuación (5)] usados en este trabajo. También hay que considerar los períodos en que no se obtuvieron datos en un determinado termopar por su rotura temporal. Así, cuando se consideró individualmente cada combinación de termopar e intervalo de tiempo, el número de períodos semihorarios sin estima de H_{sr} a causa del problema mencionado fue relativamente importante (aproximadamente un 10-15 %). Pero cuando los 4 conjuntos de estimas se multiplicaron por los coeficientes de calibración correspondientes y, por tanto, se transformaron a estimas obtenidas para el mismo intervalo de tiempo ($r = 0.75$ s) y la misma altura de medida ($z = 0.9$ m), entonces se pudo obtener una única estima de H_{sr} (y por tanto una única estima de LE_{sr}), promediando las 4 estimas calibradas. De esta forma, el número de semihoras sin estima se redujo a menos de 1-2 %. Este es otro motivo para favorecer el uso de,

al menos, dos termopares y uno o dos intervalos de tiempo en este tipo de trabajos en la forma descrita en esta sección.

5.2.3. Comparación del método de la renovación de la superficie con el método de Penman-Monteith

Tras las comparaciones descritas en las secciones 5.2.1 y 5.2.2, para cada período semihorario, se promediaron las 4 estimas de H_{sr} disponibles, tras aplicar los coeficientes α del Cuadro 14, para obtener una única estima de dicha variable (en ocasiones el número de estimas de H_{sr} disponibles en una semihora particular era menor de 4). Posteriormente, la ecuación (1) se utilizó para obtener una única estima semihoraria de LE_{sr} que se transformó en ET_{sr} mediante la ecuación (10). Este cálculo se realizó para todas las semihoras de los períodos 16 de febrero (0:30) a 27 de noviembre de 2000 (2000) y de 20 de marzo (12:00) a 22 de julio (24:00) de 2001 debido a las razones expuestas en la sección 5.2.2. Finalmente, se obtuvieron valores diarios de ET_{sr} sumando las semihoras de cada día.

Asimismo, se obtuvieron valores diarios de ET_0 con el método Penman-Monteith y de ET_{kc} (evaporación de suelo desnudo) tal como se explica en la sección 4.5. Estos cálculos se realizaron para todos los días del período de estudio (16 de febrero de 2000 a 30 de noviembre de 2001). No obstante, los valores de ET_0 y ET_{kc} sólo se compararon con los valores diarios de ET_{sr} para los períodos en que estos últimos se calcularon.

La Figura 22 muestra los registros de precipitación acumulada y las estimas de evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta obtenidas diariamente con los métodos de renovación de la superficie (ET_{sr}) y FAO Penman-Monteith (ET_0), así como las estimas de evaporación de suelo desnudo según la metodología FAO (ET_{kc}). La Figura 23 muestra los cocientes entre las estimas diarias de ET_{sr} y las de ET_0 , así como la precipitación acumulada durante los períodos considerados en esta sección. En el período 16 de febrero a 27 de noviembre de 2000 se observa que los valores de ET_{sr} son algo inferiores a las de ET_0 hasta la segunda mitad de marzo cuando empiezan a producirse eventos significativos de precipitación. Desde este momento hasta la primera mitad de junio se igualan los valores de ET_{sr} y ET_0 debido a la disponibilidad de agua por las lluvias de finales de marzo, abril y mayo. A partir de la mitad de junio apenas hubo precipitaciones significativas hasta entrado octubre y, consecuentemente, ante la falta de agua disponible, las estimas de ET_{sr} fueron claramente menores que las de ET_0 . En lo que resta de período, octubre y noviembre, de nuevo la disponibilidad de agua por las lluvias igualó las estimas de ET_{sr} y ET_0 . En el período 21 de marzo a 22 de julio de 2001, las estimas de ET_{sr} fueron menores que las de ET_0 hasta el fin de abril. En este momento hubo eventos significativos de precipitación que aumentaron la disponibilidad de agua e igualaron las estimas de estas dos variables hasta la segunda mitad de mayo. A partir de este momento y hasta el final del período considerado, las estimas de ET_{sr} fueron claramente menores que las de ET_0 debido a las escasas lluvias y a la alta demanda evaporativa existente en verano.

El comportamiento de los valores de ET_{kc} fue cualitativamente parecido al de las estimas de ET_{sr} por las mismas razones antes comentadas. Eso sí, las estimas de ET_{kc} fueron menores que las de ET_{sr} . Hay que recordar que la ET_{kc} representa la evaporación de suelo desnudo y sería la evapotranspiración de la zona de estudio si

toda ella estuviera desprovista de vegetación de forma que el proceso de evaporación tendría lugar sólo en tanto en cuanto hubiera humedad en los primeros centímetros del suelo. Pero, en realidad, la zona de estudio tiene algo de vegetación cuyas raíces pueden absorber agua de capas más profundas de suelo por lo que se puede producir cierta transpiración aun cuando el suelo esté seco en su capa más superficial. Además, está la evaporación capilar que se pueda producir por la cercanía de la capa freática a la superficie del suelo. En definitiva, y como ya se ha comentado anteriormente, se espera que los valores verdaderos de ET_{sr} se encuentren entre los dos límites marcados por las estimas de ET_0 y ET_{kc} (Cuadro 16). Lo que estos resultados muestran es que, al menos cualitativamente, el método de la renovación de la superficie funciona ya que sus estimas son sensibles a las condiciones de humedad reflejadas por la precipitación acumulada durante el período de estudio.

Cuadro 16. Evapotranspiración acumulada en los márgenes de la laguna de Gallocanta estimados con los métodos de la renovación de la superficie (ET_{sr}) y FAO Penman-Monteith (ET_0), así como evaporación acumulada de suelo desnudo estimada según la metodología FAO (ET_{kc}).

Período	ET_{sr} (mm)	ET_0 (mm)	ET_{kc} (mm)
16 de febrero a 27 de noviembre de 2000	739.6	1079.0	503.7
21 de marzo a 22 de julio de 2001	364.9	572.4	171.2

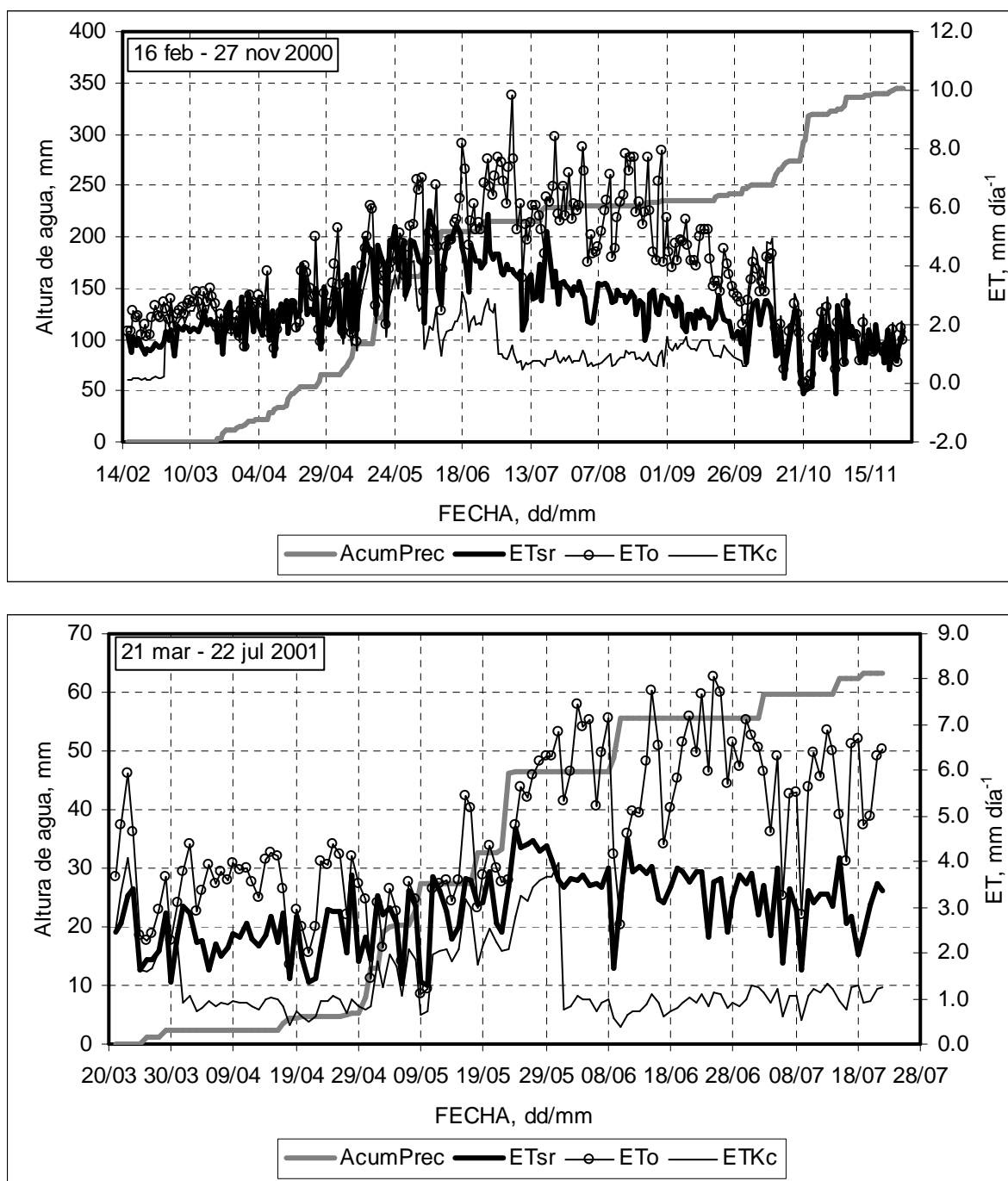


Figura 22. Registros diarios de precipitación acumulada (*AcumPrec*) y estimas de evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta: ET_{sr} , estimas con el método de renovación de la superficie; ET_0 , estimas con el método FAO Penman-Monteith; ET_{kc} , estimas de evaporación de suelo desnudo según la metodología FAO.

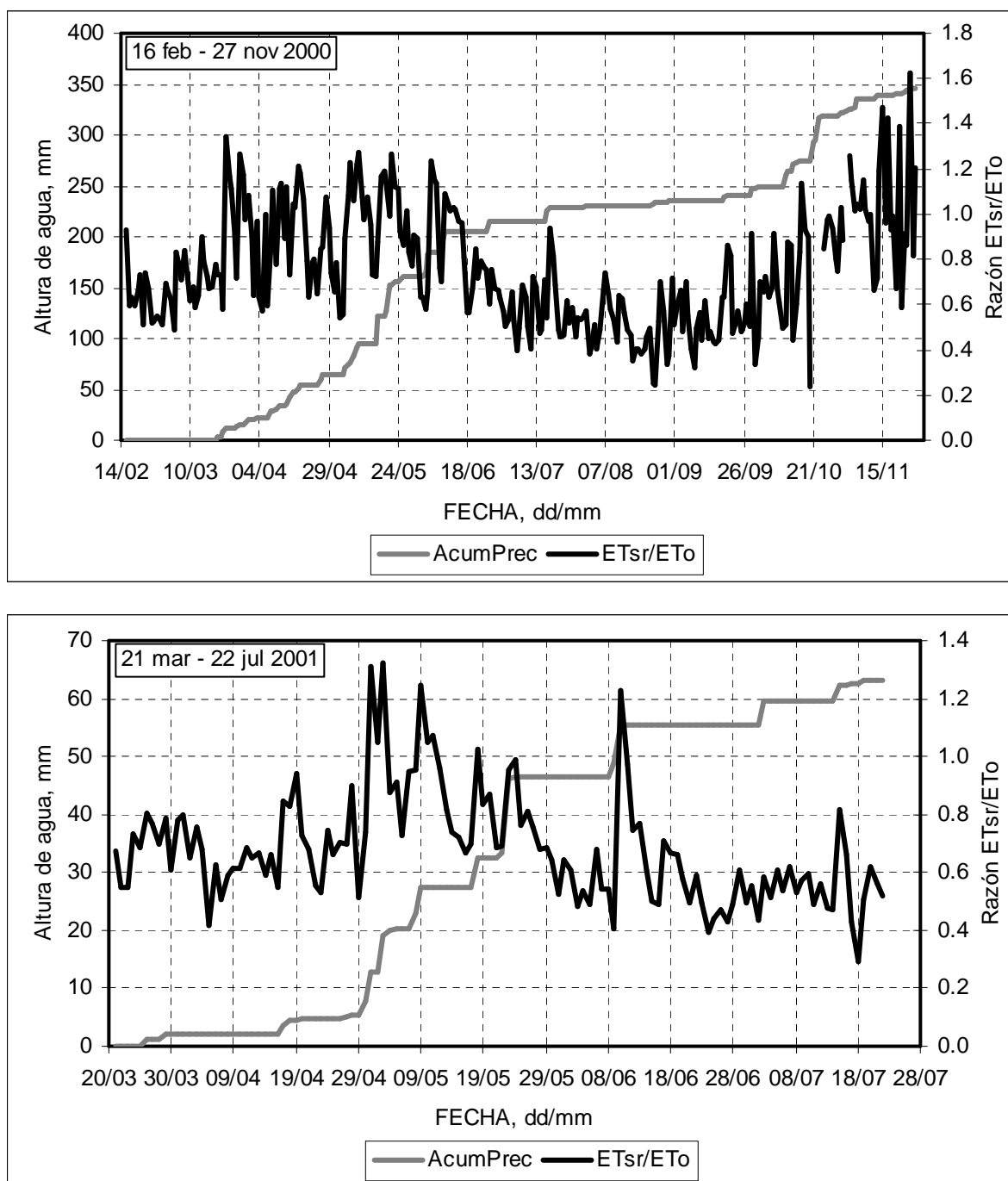


Figura 23. Registros diarios de precipitación acumulada (*AcumPrec*) y cocientes diarios entre las estimas de evapotranspiración con los métodos de la renovación de la superficie y FAO Penman Monteith (razón ET_{sr}/ET_o).

5.3. Variación diaria y estacional de los componentes del balance de energía

La Figura 24 muestra los cocientes entre las estimas diarias de H_{sr} y LE_{sr} y los valores medidos de la diferencia entre R_n y G . Estos cocientes indican la proporción de energía que se utiliza en el calentamiento del aire (calor sensible) y en la

evaporación de agua (calor latente). Cuando la disponibilidad de agua en el suelo es menor, la proporción de energía destinada a calor latente disminuye y el flujo de calor sensible aumenta. La Figura 24 indica que, en este trabajo, en general, la proporción de energía destinada a LE_{sr} fue mayor que la destinada a H_{sr} . En el período 16 de febrero a 27 de noviembre de 2000, se observó un cierto aumento del cociente entre H_{sr} y $Rn-G$ y una disminución del cociente entre LE_{sr} y $Rn-G$ hasta finales de abril. A partir de ese momento se produjeron precipitaciones significativas y ambos cocientes mostraron una cierta tendencia a separarse durante mayo y parte de junio. Durante el verano, de nuevo los dos cocientes mostraron una tendencia a acercarse, para separarse en el otoño cuando volvieron otra vez las precipitaciones.

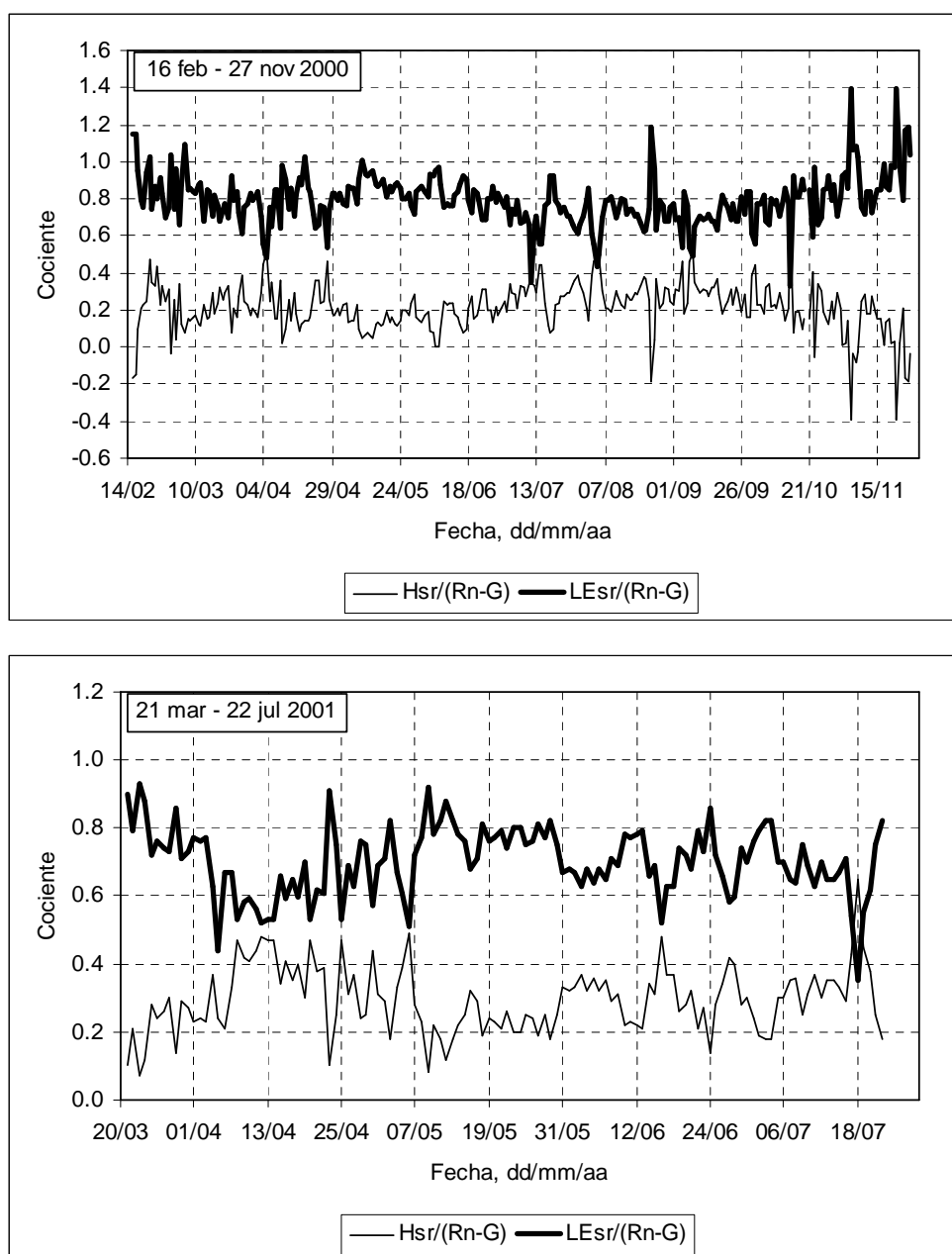


Figura 24. Cocientes diarios entre las estimas de los flujos de calor sensible (H_{sr}) y calor latente (LE_{sr}) y los valores medidos de la diferencia entre radiación neta y flujo de calor en el suelo ($Rn-G$).

En el período 21 de marzo a 22 de julio de 2001, los cocientes $H_{sr}/(Rn-G)$ y $LE_{sr}/(Rn-G)$ empezaron siendo bastante diferentes debido a la disponibilidad de agua a causa de las lluvias invernales. Hacia principios de abril, ambos cocientes tendieron a acercarse debido a la falta de precipitaciones. Cuando éstas se produjeron en mayo, de nuevo ambos cocientes se separaron para, posteriormente, acercarse algo más durante junio y julio.

Aunque no de forma tan clara como los resultados vistos en las Figuras 22 y 23, los resultados de la Figura 24 señalan cómo claramente las estimas de H_{sr} y LE_{sr} responden a la disponibilidad de agua representada por las precipitaciones producidas durante el período de estudio.

La Figura 25 muestra los componentes del balance de energía del 24 de mayo de 2000 y del 27 de mayo de 2001. Estas fechas constituyen ejemplos típicos de la partición de la energía en sus distintos componentes en días con relativa disponibilidad de agua en el suelo a causa de las precipitaciones en fechas inmediatamente anteriores. Se observa cómo el flujo de calor latente fue claramente mayor que los flujos de calor sensible y calor en el suelo. No obstante, el flujo de calor latente aún fue apreciablemente menor que la radiación neta, lo que refleja que no existió una disponibilidad completa de agua para el proceso de evapotranspiración. Así, por ejemplo, si las medidas se hubieran efectuado sobre un cultivo bien regado, el flujo de calor latente habría sido prácticamente igual al total de radiación neta.

La Figura 26 muestra los componentes del balance de energía del 27 de julio de 2000 y del 8 de julio de 2001. Estas fechas constituyen ejemplos típicos de la partición de la energía en sus distintos componentes en días con escasa disponibilidad de agua en el suelo debido a la falta de precipitaciones en las fechas anteriores. En estas situaciones el flujo de calor sensible iguala e incluso puede superar al flujo de calor latente.

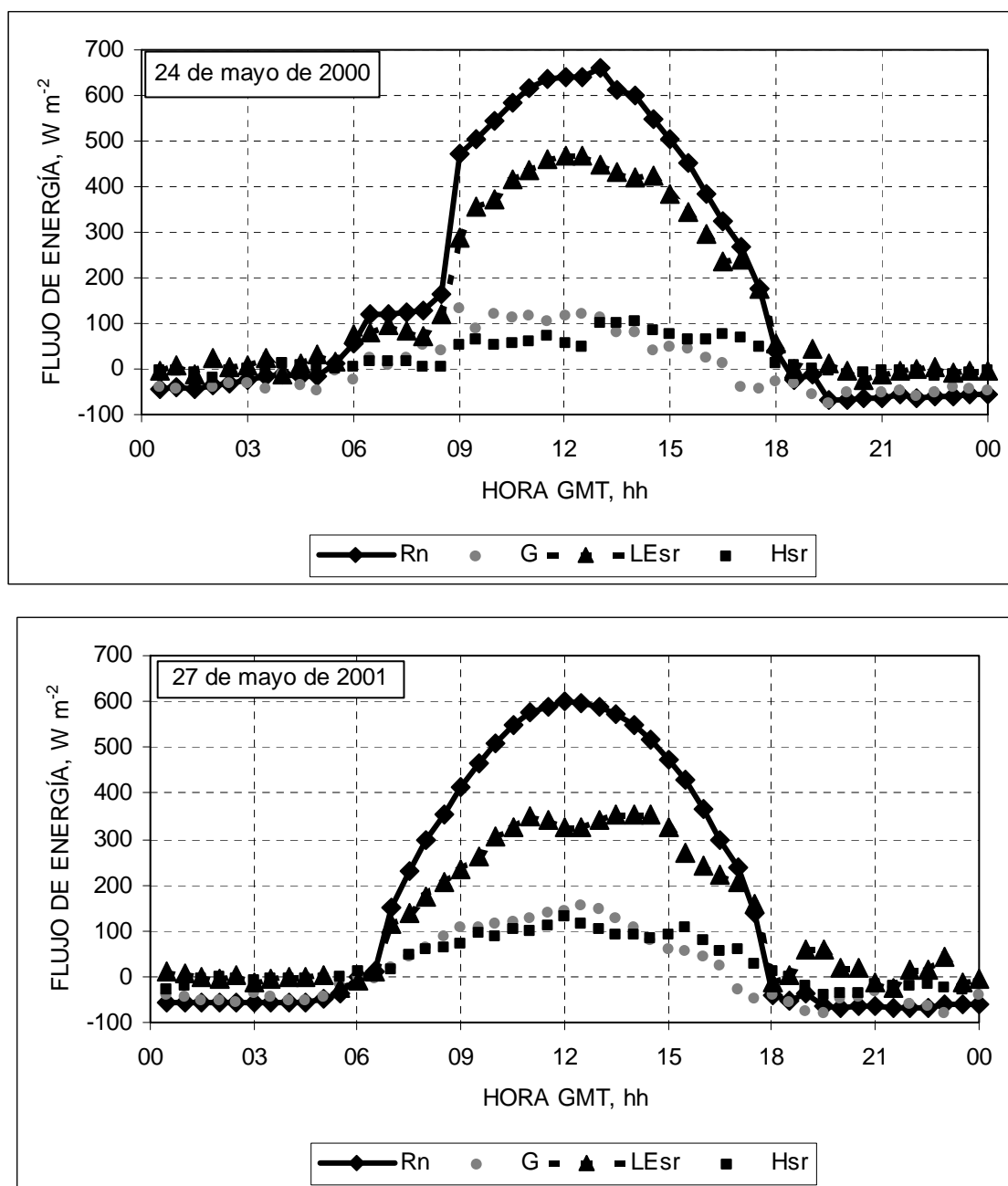


Figura 25. Componentes del balance de energía de dos días típicos con relativa disponibilidad de agua en el suelo. Rn , radiación neta. G , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} , flujo de calor latente. H_{sr} , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} y H_{sr} , estimados con el método de la renovación de la superficie.

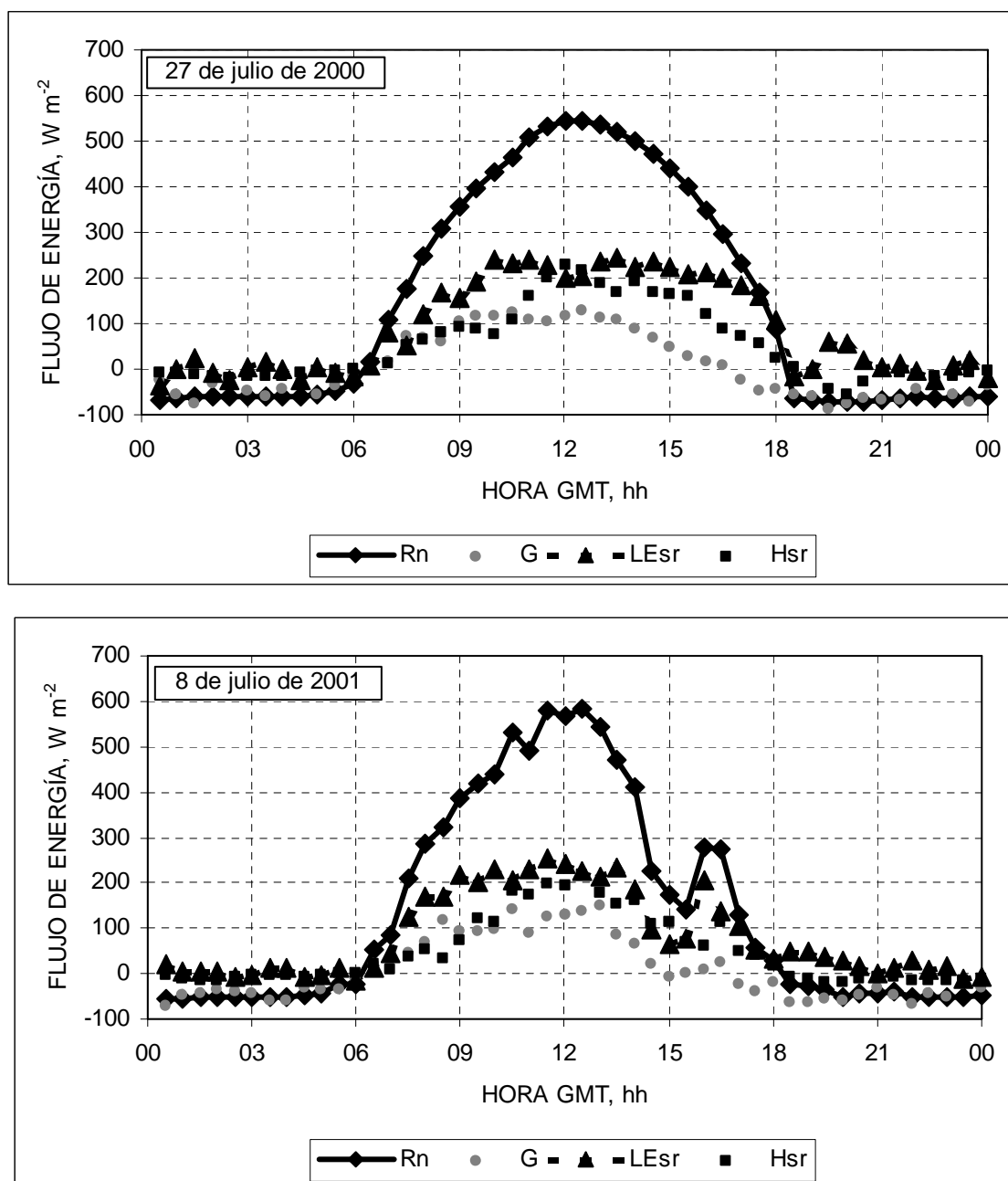


Figura 26. Componentes del balance de energía de dos días típicos con escasa disponibilidad de agua en el suelo. R_n , radiación neta. G , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} , flujo de calor latente. H_{sr} , flujo de calor en el suelo. LE_{sr} y H_{sr} , estimados con el método de la renovación de la superficie.

5.4. Cuantificación diaria y estacional de la evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta

Las secciones 5.2 y 5.3 han presentado una serie de evaluaciones, cuantitativas y cualitativas, sobre el método de la renovación de la superficie empleado en este trabajo para estimar la evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta. Como resumen de dichos análisis, el Cuadro 17 lista los

valores medios decenales de las estimas diarias de ET_{sr} en los períodos 16 de febrero a 27 de noviembre de 2000 y 21 de marzo a 22 de julio de 2001. Sólo en estos períodos se considera que los valores de ET_{sr} fueron estimados correctamente tal como se discute al principio de la sección 5.2.2.

Cuadro 17. Valores medios decenales de evapotranspiración diaria (mm día^{-1}) en los márgenes de la laguna de Gallocanta estimados con el método de la renovación de la superficie en el período de estudio.

Mes	Decena	2000	2001
2	3	1.2	
3	1	1.7	
3	2	2.0	
3	3	2.1	2.4
4	1	2.0	2.3
4	2	2.6	2.4
4	3	2.4	2.4
5	1	2.6	2.4
5	2	4.1	3.2
5	3	4.2	3.9
6	1	4.2	3.4
6	2	4.6	3.7
6	3	4.5	3.4
7	1	3.7	2.9
7	2	3.6	3.0
7	3	3.3	
8	1	2.9	
8	2	3.0	
8	3	2.6	
9	1	2.5	
9	2	2.3	
9	3	1.8	
10	1	2.4	
10	2	1.3	
10	3	0.9	
11	1	1.6	
11	2	1.2	
11	3	1.3	
Estacional (mm)		739.6	364.9

En 2000, los valores de ET_{sr} fueron menores de 2.0 mm día^{-1} en febrero e inicios de marzo, superaron dicha cifra en fechas posteriores pero sin superar 3.0 mm día^{-1} de media. Pero en la segunda decena de mayo, coincidiendo con períodos lluviosos, las medias de ET_{sr} estuvieron entre 4.0 y 5.0 mm día^{-1} . Después, estas medias volvieron a descender a partir de julio debido al descenso acusado en las precipitaciones. Finalmente, en otoño se alcanzaron valores medios de poco más de 1.0 mm día^{-1} . En 2001, los valores medios de ET_{sr} variaron entre 2.0 y 3.0 mm día^{-1} . En la segunda quincena de mayo dichas medias aumentaron, sin superar 4.0 mm

día⁻¹ cuando volvieron de nuevo las precipitaciones significativas. En el mes de julio, de nuevo, los valores medios de ET_{sr} no superaron 3.0 mm día⁻¹ cuando las precipitaciones se tornaron casi inexistentes. En total, los valores estacionales de ET_{sr} fueron los indicados en el Cuadro 16 y asimismo en el Cuadro 17. Estas cifras de 740 mm en 2000 (16 de febrero a 27 de noviembre) y 365 mm en 2001 (21 de marzo a 22 de julio) constituyen la cantidad estimada de evapotranspiración en los márgenes de la laguna de Gallocanta y la finalidad última de este trabajo. Desafortunadamente, no se han podido obtener estimas para un período más largo debido a los problemas de registro de datos en el acumulador de datos GALLOCA2 apuntados en la sección 5.2.2.

En este trabajo, el método de la renovación de la superficie se calibró mediante su comparación con el método de covarianza de torbellinos. Asimismo, se evaluó cuantitativamente mediante su comparación con el método de FAO Penman-Monteith y con la evapotranspiración de suelo desnudo estimada según la metodología FAO. Estas comparaciones y evaluaciones sugieren que las estimas de evapotranspiración obtenidas con el método de la renovación de la superficie son bastante razonables, aunque lógicamente no son perfectas. Las calibraciones utilizadas en este trabajo (Cuadro 14) transformaron los valores de los cuatro conjuntos de estimas de H_{sr} a valores equivalentes a los que se habrían obtenido si los dos termopares se hubieran colocado a 0.9 m del suelo y se hubiera usado sólo el intervalo de tiempo r [ecuación (5)] largo ($r = 0.75$ s). Según esas calibraciones (sección 5.2.1), las “peores” estimas se hubieran obtenido con el termopar colocado a 1.4 m de altura y con el intervalo de tiempo r corto ($r = 0.375$ s). La diferencia entre los promedios diarios de ambos conjuntos de estimas fue de alrededor de 20 % antes de la calibración (Figura 21).

Simplemente como mero ejercicio de elucubración sobre posibles errores en las estimas, si se supone que las estimas obtenidas a 1.4 m de altura y para el intervalo de tiempo r corto fueron realmente las “mejores” y las obtenidas a 0.9 m de altura y para $r = 0.75$ s fueron las “peores” (es decir, lo contrario de lo que sugieren las comparaciones efectuadas con el método de covarianza de torbellinos, sección 5.2.1), entonces los “verdaderos” valores estacionales de ET_{sr} habrían sido 592 mm (16 de febrero a 27 de noviembre de 2000) y 292 mm (21 de marzo a 22 de julio de 2001). En la sección 5.2.3 se discutió sobre que las estimas de ET_0 y ET_{kc} representan los límites máximo y mínimo, respectivamente, de las estimas de ET_{sr} . Ante las escasas precipitaciones registradas en la zona de estudio, parece más razonable suponer que los verdaderos valores de evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta estén entre las estimas obtenidas de ET_{sr} y las de ET_{kc} . En este sentido, se considera que los valores estacionales de ET_{sr} indicados en el Cuadro 17, 740 mm (2000) y 365 mm (2001) y las cifras mencionadas unas pocas líneas antes, 592 mm (2000) y 292 mm (2001), representan el rango en el que están los verdaderos valores de evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta en los períodos considerados en este trabajo.

6. CONCLUSIONES

Este informe presenta los resultados de las actividades realizadas en la estación meteorológica de Gallocanta, ubicada junto a la laguna del mismo nombre, durante el período de 16 de febrero de 2000 a 30 de noviembre de 2001. Durante este período se han registrado una serie de variables meteorológicas (temperatura y humedad relativa del aire, radiación solar global y neta, velocidad y dirección de viento, temperatura de suelo, flujo de calor en el suelo y precipitación) en períodos semihorarios y horarios. Los resultados descritos en este trabajo sugieren que el funcionamiento de la estación es el idóneo, con tan sólo algún problema puntual y esporádico, y que los registros obtenidos son de gran calidad. Así, los valores de precipitación y temperatura del aire registrados en la estación de Gallocanta fueron bastante similares tanto cuantitativa como cualitativamente a los registrados en estaciones termopluviométricas cercanas de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología.

Asimismo, se han registrado valores de temperatura del aire de alta frecuencia con termopares de hilo fino, en períodos semihorarios, con el fin de emplear el método de la renovación de la superficie para estimar valores semihorarios de flujo de calor sensible. A partir de estas estimas y de los valores medidos de radiación neta y flujo de calor en el suelo, se han obtenido estimas semihorarias y diarias del flujo de calor latente o, si se expresan en términos equivalentes de altura de agua, de la evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta.

Las estimas de flujo de calor sensible obtenidas con el método de la renovación de la superficie (H_{sr}) se compararon con valores medidos de dicho flujo con el método de covarianza de torbellinos durante el período de 25 de julio a 4 de agosto de 2000. Estas comparaciones permitieron obtener coeficientes de calibración para distintas alturas de medida de la temperatura del aire de alta frecuencia y distintos intervalos de tiempo r [ecuación (5)] Según estas comparaciones, las mejores estimas se obtuvieron cuando la altura de medida fue de $z = 0.9$ m para el intervalo de tiempo r [ecuación (5)] más largo ($r = 0.75$ s). Las estimas de H_{sr} y LE_{sr} obtenidas para dos alturas de medida y dos intervalos de tiempo r se compararon entre sí para distintos períodos, a nivel semihorario y diario, tanto para valores sin calibrar como calibrados. Los coeficientes de calibración encontrados en el período 25 de julio a 4 de agosto de 2000, aunque no estrictamente válidos para todos los períodos, sí que mostraron ser suficientemente adecuados para que la precisión de todas las estimas fuese similar.

Las comparaciones de las estimas de ET_{sr} con las estimas de ET_0 y ET_{Kc} mostró que, cualitativamente, el método de renovación de la superficie respondió adecuadamente a factores como la disponibilidad de agua en el suelo representada por los eventos de precipitación registrados durante el período de estudio.

Los valores estacionales de ET_{sr} encontrados en este trabajo fueron de 740 mm (16 de febrero a 27 de noviembre de 2000) y 365 mm (21 de marzo a 22 de julio de 2001). En función de las diferencias entre las estimas de LE_{sr} obtenidas a diferentes alturas de medida e intervalos de tiempo r , se considera que el error máximo que podría haber en estas cifras sería de una sobrestimación aproximada

del 20 %, suponiendo que las peores estimas obtenidas durante el período de calibración (25 de julio a 4 de agosto de 2000), para una altura de 1.4 m y un intervalo de tiempo de 0.375 s, hubieran sido en realidad las mejores. En este sentido, se considera que los valores estacionales de ET_{sr} , 740 mm (2000) y 365 mm (2001) y los valores estacionales que se obtendrían si se acepta ese error de sobrestimación del 20 %, 592 mm (2000) y 292 mm (2001), representan el rango en el que están los verdaderos valores de evapotranspiración de los márgenes de la laguna de Gallocanta en los períodos considerados en este trabajo. No obstante, hay que tener claro que este error máximo aproximado se considera una simple elucubración que no se apoya por los resultados de la calibración sino sólo por las diferencias halladas entre las distintas estimas de LE_{sr} antes de aplicar los coeficientes de calibración encontrados.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Roma, 299 p.
- ASCE. 1996. Hydrology Handbook. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 28. Am. Soc. Civil Engr., Nueva York, 784 pp.
- Foken T., Wichura B. 1996. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agriculture Forest Meteorology*. 78: 83-105.
- Gao W., Shaw R.H., Paw U K.T. 1989. Observation of organized structure in turbulent flow within and above a forest canopy. *Boundary Layer Meteorology*. 47: 349-377.
- García Prieto F.J. 1993. Fisiografía de la laguna de Gallocanta y su cuenca. *Xiloca*. 11: 177-204.
- García Vera M.A. 1997. Balance de la unidad hidrogeológica de Gallocanta. Informe 97-PH-24-I. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. Informe inédito.
- Gerald C.F., Wheatley P.O. 1985. Applied numerical analysis. Addison-Wesley Publishing. Reading, Massachussets. 579 pp.
- Malek E., Bingham G.E., McCurdy G.D. 1990. Evapotranspiration from the margin and moist playa of a closed desert valley. *Journal of Hydrology*. 120: 15-34.
- Martínez Cob, A. 2000. Evaluación metodológica para la estimación de la evaporación capilar en la laguna de Gallocanta. Informe 1999-PH-31-I. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. Informe inédito.
- Martínez Cob A. 2001. Adequacy of Villalobos meter to adjust eddy covariance latent heat flux. *Irrigation Science*. 20: 175-188.
- Monteith J.L., Unsworth M.H. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, Nueva York, Melbourne, Auckland. 291 pp.
- Paw U K.T., Brunet Y. 1991. A surface renewal measure of sensible heat flux density. 20th Conference on Agriculture and Forest Meteorology. 10-13 septiembre 1991. Salt Lake City, Utah, EE.UU. 52-53. Amer. Meteorol. Soc., Boston, MA, EE.UU.
- Paw U K.T., Qiu J., Su H.B., Watanabe T., Brunet Y. 1995. Surface renewal analysis: a new method to obtain scalar fluxes without velocity data. *Agriculture Forest Meteorology*. 74: 119-137.
- Shaw R.H., Paw U K.T., Gao W. 1989. Detection of temperature ramps and flow structures at a deciduous forest site. *Agriculture Forest Meteorology*. 47: 123-138.
- Snyder R.L., Spano D., Paw U K.T. 1996. Surface renewal analysis for sensible and latent heat flux density. *Boundary Layer Meteorology*. 77: 249-266.
- Spano D., Snyder R.L., Duce P., Paw U K.T. 1997. Surface renewal analysis for sensible heat flux density using structure functions. *Agriculture and Forest Meteorology*. 86: 259-271.

- Spano D., Snyder R.L., Duce P., Paw U K.T. 2000. Estimating sensible and latent heat flux densities from grapevine canopies using surface renewal. *Agriculture and Forest Meteorology*. 104 (3): 171-183.
- Van Atta C.W. 1977. Effect of coherent structures on structure functions of temperature in the atmospheric boundary layer. *Archives of Mechanics*. 29 (1): 161-171.
- Willmott C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*. 63 (11): 1309-1313.
- Zapata N., Martínez Cob A. 2001. Estimation of sensible and latent heat flux from natural sparse vegetation surfaces using surface renewal. *Journal of Hydrology*. 254: 215-228.
- Zapata N., Martínez-Cob A. 2002. Evaluation of the surface renewal method to estimate wheat evapotranspiration. *Agricultural Water Management*. 55 (2): 141-157.

ANEJO 1

REGISTRO DE LAS INCIDENCIAS OCURRIDAS EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE GALLOCANTA DESDE SU INSTALACIÓN

Estación de Gallocanta:

Término municipal: Gallocanta (Zaragoza)

Paraje: Las Suertes

Datos cartográficos:

Fuente: Cartografía Militar de España
Mapa general, serie L.
Escala 1:50.000
Plano: Calamocha 26-19 (491)

Latitud: 40° 59'09" N

Longitud: 1° 30'17" W (Greenwich)

Coordenada UTM Norte-Sur: 4538.325 km

Coordenada UTM Este-Oeste: 625.775 km

Elevación sobre el nivel del mar (m): 1000.

Declinación magnética a 1 enero de 1978: 5° 24'

Variación anual de la declinación: -5'07"; por tanto, en 22 años, -1°52'34"

Declinación magnética a 1 de enero de 2000: 3°31'26"

En definitiva, norte verdadero:

$$360^\circ - 3^\circ 31' 26'' = 356^\circ 28' 34''$$

Como norte verdadero, se debería escoger el valor de $\approx 356^\circ 30'$ leído con la brújula.

15 febrero 2000

Se procedió a la instalación de la estación de Gallocanta (acumuladores de datos *Galloca1* y *Galloca2*). La instalación se acabó de realizar cerca de las 18:00 GMT más o menos. Los mástiles y soporte del pluviómetro (junto con las barras de sujeción de los vientos) estaban ya colocados días antes. Recinto vallado, 5 x 10 m. El lado largo (10 m) paralelo al Lagunazo, es decir de dirección NO-SO aproximadamente. El norte está mirando hacia el pueblo de Gallocanta. Como referencia del norte se usó la iglesia de Gallocanta.

Alturas de colocación de sensores:

- Sonda de T^a/HR (Vaisala), 2.0 m.
- Monitor de viento, 2.0 m.
- Piranómetro, 1.85-1.90 m.
- TCBR, nº 1, 1.4 m aprox.
- TCBR, nº 2, 1.4 m aprox.

- Q7, 1.50 m aprox.
- Pluviómetro, 1.5 m aprox. (boca superior).
- *HFP01*, 0.08 m (prof. desde superficie suelo).
- *TCAV*, 0.03 y 0.06 m (prof. desde superficie suelo).

Al instalar las placas *HFP01* y la sonda *TCAV*, se sacaron muestras de suelo: dos puntos, dos profundidades (0-10, 10-20 cm). Los siguientes dos cuadros muestran los resultados de los análisis de estas muestras.

Punto	Profundidad (cm)	Humedad gravimétrica (%)	Salinidad 1:5 (dS m ⁻¹)	Capacidad de campo (%) ^(1,2)	Punto de marchitez (%) ^(1,2)
1	0-10	21.49	0.32	30.25	18.70
1	10-20	20.54	0.37	31.60	19.50
2	0-10	20.29	0.25	30.15	18.30
2	10-20	21.46	0.29	31.85	19.60

⁽¹⁾ Cada valor es la media de dos determinaciones por muestra.

⁽²⁾ Valores gravimétricos.

Análisis granulométrico (cifras en %).

Punto	Profundidad (cm)	Arcilla (0.04-2 µm)	Limo (2-50 µm)	Arena fina (50-500 µm)	Arena gruesa (500-2000 µm)	Arena total	Clase textural
1	0-10	29.19	47.17	20.27	3.37	23.64	F. arcillosa
1	10-20	24.09	56.94	14.89	4.08	18.97	F. limosa
2	0-10	29.08	46.62	19.48	4.82	24.30	F. arcillosa
2	10-20	33.17	47.07	16.96	2.80	19.76	F. arcillo limosa

Se calibraron los tanques de evaporación (ver listado del programa *Galloca1*). En fin, aparentemente todo quedó funcionando.

21 febrero 2000

Modifico ligeramente *Galloca1* para: a) introducir el “offset” de los sensores de altura de agua (tanques de evaporación); b) hacer que las lecturas de altura de agua tengan resolución alta; c) registrar precipitación diaria.

Se leyó la estación *Galloca2* hacia las 11:40 GMT. Con sorpresa se ve que los datos leídos son de *Galloca1*. Después comprobé que los números de teléfono estaban intercambiados. Así que se subsanó este error y ya se leyeron los primeros datos (días 15 a 21 de febrero 12:30 GMT) registrados en ambos equipos acumuladores de datos. Se reprogramó *Galloca1* para que los cambios antes efectuados tuviesen lugar.

24 febrero 2000

Se rellenaron los tanques de evaporación. Hacia las 10:20 GMT.

1 marzo 2000

A las 7:32 GMT se reprogramó *Gallica2*. Ahora, en vez de registrarse las $\overline{\Delta T_r^n}$ cada 30 min, se registran las $\sum \Delta T_r^n$ cada 30 min. Después, con el programa SURFRAUX.EXE, se sacarán los valores medios de $\overline{\Delta T_r^n}$.

3 marzo 2000

Captación de datos. A las 7:39 GMT se reprogramó *Gallica2*. Se ha detectado que las ΔT_r^n registradas no son en realidad entre i e $i-4$ y entre i e $i-2$, sino que realmente las diferencias registradas han sido entre i e $i+3$ y entre i e $i+1$. Por ello, se ha cambiado el programa *Gallica2* y a partir de ahora se registran $\sum \Delta T_r^n$ con diferencias entre i e $i-3$ y entre i e $i-1$.

4 marzo 2000

Rellenado de tanques clase A, hacia las 17:40 GMT.

6 marzo 2000

Se vio que los *outputs* relacionados con los *TCBR* deben hacerse en Tabla 2 y no en Tabla 1 como se había hecho antes. Nueva reprogramación de *Gallica2* corrigiendo este problema (hacia las 7:32 GMT).

11 marzo 2000

Rellenado de tanques clase A, hacia las 17:15 GMT.

13 marzo 2000

Visita a la estación. Limpieza de sensores. Gran cantidad de sal sobre los mismos. Sobre todo en el lado noroeste. La laguna está llena de sal y sin agua (algo de humedad en el medio del Lagunazo central). Sequedad en el suelo de la estación. Mucho polvo.

Lluvia "artificial" de 0.4 l, hacia las 12:00 ó 12:30 GMT. Se cambiaron los termopares *TCBR* y se pusieron otros. Los que se quitaron están bien, eso sí algo sucios por la sal. Con la opción *Monitor* (programa *GT*, aplicación *PC208*) se vio que todo parece funcionar bien.

4 abril 2000

Lectura de estaciones. Hacia las 6:30 GMT. A las 6:31 GMT se volcó una nueva versión de *Gallica1* que proporciona también los máximos diarios (y la hora) de rad. solar, rad. neta, F1 y F2 y también un histograma de frecuencias de la dirección del viento.

10 mayo 2000

Visita a la estación. Llevamos varios días de lluvias. Hoy está empezando a llover a nuestra llegada.

En primer lugar, capto los datos de *Gallica2* y reprogramo esta estación poco antes de las 10:30 GMT. Debido a un paraguazo accidental se chafa el *TCBR* nº 2. El *TCBR* nº 1 también parece chafado aunque en este caso supongo que por el viento. Pongo en su lugar los dos termopares *TCBR* usados hasta el 13 de marzo de 2000 y que fueron limpiados por Monesma (baño de agua aplicando ultrasonidos).

Desconecté la sonda *TCAV* y el termistor *10TCRT*. La nueva versión de *Gallica2* sólo lee los termopares *TCBR*. Después, en *Gallica1*, desconecté el piranómetro *SPLite* del canal diferencial 2 y lo conecté en modo *single ended* en el canal 3L. Me costó conectarlo pues este sensor tiene un conector *IP68* y tuve que estirar un poco el cable blanco y el verde para que llegasen a 3L y AG, respectivamente (el *screen* se supone que ya viene de fábrica conectado a G; en realidad no sé cuál es el *screen* del *SPLite*). Espero que la conexión esté bien y no esté floja.

Después conecté el *10TCRT* y la *TCAV* a *Gallica1*. Reprogramé *Gallica1* con una nueva versión en que el *SPLite* se lee como *single ended* y la *TCAV* se lee y almacena en el output (como diferencial). La reprogramación se hizo poco antes de las 11:00 GMT. Durante la misma, el *SPLite* se tapó con el paraguas pues estaba lloviendo y se trataba de evitar que el acumulador de datos y el portátil se mojasen. Por ello la lectura del *SPLite* será errónea a las 11:00 GMT (¿quizás a las 10:30?).

Con *Monitor* se verificó que todo parecía funcionar correctamente aunque la *HR* parecía ser algo baja (estaba lloviendo): salía alrededor de 70%. Se verificó la orientación de la veleta. Quizás haya un ligero error de unos 5°. Pero se dejó tal cual (estaba lloviendo).

Se limpió el radiómetro neto. Se vio que el candado de la verja no funciona. Se dejó aparentando que estaba cerrado. Pero ya veremos. En la próxima visita, ¿llevamos una sonda *HMP45AC* para verificar la *HR* de la estación *Gallica1*?

11 mayo 2000

Captación de datos. Aparentemente, todo bien, excepto el tanque de evaporación 2 (agua dulce). Sólo se registra 36 como valor de altura de agua. Ayer en la estación, cuando reprogramé esta y usé *Monitor* para ver qué se estaba registrando, ya vi que el valor de esta variable era 36, muy diferente al que en ese momento se estaba registrando en el otro tanque. En ese momento, pensé que era que ambos medían una altura diferente por haber tenido tasas de evaporación diferente y no le di más importancia. Pero hoy se hace patente que hay un problema.

No creo que sea que hayamos “dañado” el sensor. Recuérdese que después de trajinar con los acumuladores de datos, se echó sulfato de cobre en el tanque de agua dulce y se removió esta agua bastante. También se limpió la entrada del otro tanque. Pero estas acciones fueron posteriores a que se usase *Monitor* para ver los registros actuales en *Gallica1*.

Curiosamente 36 es el valor del "offset" de la instrucción de lectura de los tanques. En principio creo que el problema puede deberse a una de estas dos cosas: a) que el uso de una única instrucción de lectura de los 2 tanques (usando 2 en el parámetro 1 de esta instrucción) no es adecuado; b) que al trajinar en el acumulador de datos para colocar el piranómetro en modo *single ended* y para colocar el 10TCRT y la TCAV se "tirase" accidentalmente del cable del tanque de evaporación 2 y éste se saliese de su canal de entrada.

La primera razón me parece que podría explicarse porque el canal de excitación indicado (parámetro 4) es el 2 siendo que el tanque 1 está conectado a E2 y el tanque 2 a E3. Pero lo que yo esperaría es que, al indicar 2 repeticiones (parámetro 1), el acumulador de datos entendiese automáticamente que los canales de excitación son E2 y E3. La segunda razón me extraña pues esperaría que si el cable se ha soltado, la lectura fuese 99999. Pero de momento no se me ocurre otra.

Por ello decido modificar de nuevo el programa *Galloca1* y desarrollo la instrucción de lectura de los tanques de modo que cada tanque tiene su propia instrucción, tal como ocurría hasta el 10 de mayo a las 10:30 GMT.

12 mayo 2000

Capto datos de *Galloca1*. A las 6:33 GMT, reprogramo *Galloca1* para ver si arreglo el problema del tanque de evaporación 2, tal como explico en las notas del 11 de mayo.

15 mayo 2000

Captación de datos de ambos acumuladores de datos. Se observa que la lectura de ambos tanques ahora parece ser la correcta. Así, pues, parece que el problema comentado en las notas del 11 de mayo se ha solucionado.

31 mayo 2000

Se instaló el equipo de covarianza de torbellinos (anemómetro sónico CA27 y termopar 127). Uno de los termopares TCBR (el nº 2) se colocó junto a este equipo. Los sensores se colocaron a una altura de 1.42 m.

El termopar TCBR nº2 se quitó hacia las 10:20 GMT. Una vez colocados los sensores de cov. de torbellinos, se volvió a colocar. A las 11:31 GMT se captaron los datos de *Galloca2* y se volcó el programa *Edygallo*. Por tanto el TCBR nº 1 registró datos hasta las 11:30 GMT. A partir de las 12:00 GMT, pues, sólo hay datos del TCBR nº 2.

Las lecturas de cov. torbellinos a las 12:00 GMT no fueron aún fiables. Los primeros datos son de las 12:30 GMT. Antes de las 12:00 GMT se colocó la "caja de calibración" en el anemo sónico y se vio que las lecturas de este sensor eran cercanas a 0. Pero me fijé en la *location* 1 (donde la lectura está en m s^{-1}) y no en la *location* 32 (donde esta en mvolt).

Limpie el pluviómetro: "lluvia artificial" a las 12:00 GMT. Limpieza de piranómetro y radiómetro neto. Hacia las 11:40 GMT, Jesús sujetó la veleta mirando hacia el N (nuestra referencia: iglesia de Gallocanta). Lectura: aprox. 353°. Se intentó mejorar esto pero no se pudo después de intentarlo unos minutos. De todos

modos también puede haber un error en nuestro N. Se dejó así la dirección del viento.

A las 13:45 GMT se captaron datos de *Edygallo*. Lecturas de 12:30 a 13:30 GMT. Los valores de *H* parecían razonables. Se dio por concluida la instalación de la cov. de torbellinos en Gallocanta.

Se cambió el candado de la verja.

11 julio 2000

Se ha reprogramado la estación aproximadamente a las 10:40 GMT. El nuevo programa hace que el módem esté conectado de 7:15 a 10:15 (GMT) y de 7:15 a 7:45.

17 julio 2000

Aproximadamente a las 11:00 GMT, se ha hecho llover: dato erróneo el de las 11:00 ó 11:30 GMT. A las 11:32 se ha reprogramado la estación *Galloc2*. La nueva versión introduce un nuevo tiempo de lectura, cada 0.1875 s y las diferencias de temperatura serán entre intervalos separados por "lags" de 2 y 4 (0.375 y 0.75 s).

A las 4:30 GMT se ha reprogramado *Galloc2*.

25 julio 2000

Se ha vuelto a instalar el equipo de CT. Se le han cambiado los sensores estropeados. La altura media es de 1.43 m. También se han colocado otros dos termopares a dos alturas diferentes, 1.12 m y 0.87 m. La puesta en funcionamiento del equipo de CT ha sido las 10:10 GMT.

4 agosto 2000

10:15 GMT. Altura de termopares: TCBR nº 3, 87 cm; TCBR nº 4, 108 cm. Se verifica la limpieza de los sensores de *Galloc1*.

Se vuelcan datos de: a) acumulador de datos *Galloc3*; b) acumulador de datos *Galloc2*, operando con *Edygallo*. El acumulador de datos *Galloc3* se desconecta. El acumulador de datos *Galloc2* se reprograma de nuevo con *Galloc2* (versión 1.3).

Al llegar a la estación se vio que el termopar 3 (*Galloc3*) estaba algo ladeado (por lo que su altura de medida real habrá sido algo menor que los 87 cm que debería haber sido). Se desmonta todo el equipo de cov. torbellinos. Se vuelven a dejar 2 termopares en *Galloc2*. Los datos de cov. torbellinos y de *Galloc3* se leyeron hasta las 10:30 GMT. Los primeros datos con *Galloc2* (programa *Galloc2*, versión 1.3) se tuvieron a las 11:30 GMT (o quizás a las 12:00 GMT).

22 agosto 2000

Se limpia el pluviómetro a las 9:00 GMT. Se intenta leer los datos pero Nery no recuerda el nombre del programa de lectura de los datos.

Se comprueba que el acumulador de datos está conectado al módem y que la batería funciona. Se vuelcan los datos al ordenador portátil. El motivo de que no

haya comunicación remota con el acumulador de datos puede ser debida a que el módem se ha desconfigurado.

7 septiembre 2000

Visita a la estación. Lectura de datos de *Gallica2*. El módem se reconfigura de nuevo. Desde Zaragoza, por fin, se logra comunicar con *Gallica2* y volcar los datos. A las 7:50 se desconecta el *TCBR* nº 2.

A las 8:05 se quita temporalmente el radiómetro neto. Datos de *Rn* a las 8:30 y 9:00, erróneos.

Se procede a bajar la altura de los termopares *TCBR*: nº 1 a 0.94 m y nº 2 a 0.90 m. A partir de las 9:30, los datos de *TCBR* son correctos (datos erróneos o sin datos de 8:00 a 9:00).

3 noviembre 2000

Visita a la estación de Gallocanta. Se cambiaron las cúpulas del radiómetro neto que estaban rotas (por lo que el radiómetro estaba lleno de agua. Las lecturas de *Rn* desde la primera quincena de octubre son erróneas. Hacia 10:30, 11:00 ó 11:30 GMT se hizo esta reparación.

Se cambiaron los termopares *TCBR* por dos limpios. El módem y la antena de *Gallica2* se cambiaron porque últimamente no se podía contactar con el acumulador de datos *Gallica2*. Se pusieron el módem de *CR10Hier* y la antena de *CR500Lis*. Así que habrá que cambiar los números de teléfono en *PC208W*.

Se revisó la estación. Se hizo "llover" hacia las 10:30. Día con nubes y claros, mucho viento y frío.

3 diciembre 2000

Visita a la estación. Limpieza del pluviómetro y secado del radiómetro neto. Se cambiaron los termopares a las 13:00 GMT aproximadamente. Los tanques evaporimétricos estaban en buenas condiciones.

11 enero 2001

Visita a la estación (10:00 – 11:00 GMT). Lectura de datos de *Gallica1* y *Gallica2*. Se reconfiguró el módem *Gallica1* y se cambió la antena. Se cambiaron los dos termopares *TCBR* a las 10:30. Limpieza de las estaciones.

7 febrero 2001

Visita a la estación. Cambiamos la antena de *Gallica1*. Limpieza de la estación. Cambio de las dos *TCBR* (12:30 GMT aprox.). Hay que quitar la "lluvia" (2.2 mm) de la total diaria.

15 febrero 2001

Visita a la estación (10:30 GMT aprox.) Quitamos el módem y la antena para traérselo a Zaragoza. Uno de los termopares estaba roto (un hilo). Se sustituyó por uno nuevo. Se intentó ajustar la dirección del viento, andaba un poco girada (aprox. 18°). Quedo ajustada (aprox. a 6°).

20 marzo 2001

Visita a la estación. Se vuelve a colocar el módem GSM (se coloca con la tarjeta *SIM* que antes estaba en *CR10 Hierba*). Hacia las 10:32 GMT, después de leer los datos, se reprograma *Galloca1*. Ahora se registrará velocidad de viento cada 10 min. El *TCBR* nº 1 se coloca a 1.4 m. El otro se deja a 0.9 m. Este cambio se hizo a las 10:45 GMT. A las 11:00 GMT se lee *Galloca2* y se cambian los termopares por otros limpios. Se limpió el pluviómetro (¿lluvia artificial, 11:00-11:30 GMT?). Se reprogramó *Galloca2* hacia las 11:06 GMT. Ahora se registrarán la temperatura del aire (termopares *TCBR*) y su desviación. estándar cada 10 min.

5 abril 2001

Inspecciono los datos leídos. Se observa algo extraño. Hasta el 20 de marzo, antes de los cambios hechos ese día (cambio de termopares y adición del registro de medias y desviación estándar de velocidad viento y temperatura *TCBR*, cada 10 min), los 3 valores de temperatura (*Vaisala* y *TCBR*) eran muy parecidos. A partir de ese día, la sonda *Vaisala* está claramente por debajo, unos 2°C. Por ello, el 5 abril a las 10:10 GMT reprogramo las estaciones: ahora no hay datos cada 10 minutos y la desviación estándar de la velocidad viento y de los *TCBR* es sólo cada 30 minutos.

6 abril 2001

Lectura de datos. La sonda *Vaisala* sigue claramente por debajo de los *TCBR*. Voy a Gallocanta. Lectura de datos de ambas estaciones. Verifico las conexiones y el listado de los programas. Todo parece correcto. Por ello, hago lo siguiente:

- a) Pongo el termopar *TCBR* nº 1 (1.4 m) en el mástil de *Galloca1*. El otro *TCBR* (0.85 m) lo pongo en el mástil usado para el equipo de cov. torbellinos (*CT*).
- b) Pongo 2 nuevos *TCBR* en vez de los que estaban en uso.
- c) Dejo el programa de ambas estaciones registrando desviación estándar de velocidad del viento y temperatura *TCBR* cada 30 minutos.
- d) Datos *TCBR* y sumas de las diferencias de temperatura *TCBR* de las 12:00 son incorrectas. Puede que los de las 12:30, también.
- e) Conecto una sonda *Vaisala HMP4SAC* a *Galloca2* y programo esta estación para coger temperatura y humedad relativa. A las 13:00 me doy cuenta de que el tiempo de ejecución de las instrucciones sale muy alto e interferiría con *TCBR*. Quito pues la sonda *Vaisala*. Datos *TCBR* (al menos, sumas de las diferencias) de las 13:00 y tal vez 13:30 deben ser incorrectos.

9 abril 2001

Capto datos de *Galloca1* y *Galloca2* por telefonía móvil. Sigue habiendo diferencias entre *TCBR* y *Vaisala*. Miro en meses anteriores y resulta que sí, que también ha habido diferencias de 2°C entre *TCBR* y *Vaisala*; por ejemplo, en octubre 2000, cuando ambos *TCBR* estaban a 0.9 m y *Vaisala* a 2.0 m. En julio 2000, p. ej., las diferencias fueron algo menores (*TCBR* a 1.4 m). Me sigue pareciendo raro que ahora *TCBR* (uno a 1.4, otro a 0.9 m) marquen casi lo mismo y *Vaisala* (a 2.0 m) marque menos. Pero de momento lo dejo así. Quizá próximamente mire a ver si puedo poner *Vaisala HMP4SAC*.

29 mayo 2001

Visita a la estación, entre 9:00 y 9:30 *GMT* aproximadamente. Se reconfiguró el módem *Galloca2*. Sergio llamó desde Zaragoza y los datos se leyeron bien. Antes de esta reconfiguración no se pudo contactar ni con llamada automática ni con llamada manual. El cable blanco del *Wavecom* estaba en 12V y lo volví a poner en 12V *Switched*. Todo lo demás de la estación está bien. Los termopares no se cambian pues parecen limpios.

2 julio 2001

Lectura de datos. Ambas estaciones se reprograman (aprox. 7:30 *GMT*) para que los módems *Wavecom* se activen de 7:15 a 12:15 *GMT* y de 0:00 a 1:00 *GMT*.

17 julio 2001

Visita a la estación. Limpieza del radiómetro neto, el pluviómetro y el piranómetro. Lluvia artificial (12:00 ó 12:30). Cambio de termopares (12:18).

13 septiembre 2001

Visita a la estación (entre 8:40 y 9:15 *GMT* aprox.). Limpieza general. Se comprobó que los *TCBR* están a 1.36 y 0.85 m sobre el nivel del suelo, exactamente. Así han estado desde 20 marzo 2001. He cambiado los termopares y he puesto de los rectos en vez de los curvos. Por ello, las nuevas alturas de medida son 1.43 y 0.87 m respectivamente. A partir de las 9:30 *GMT*.

12 noviembre 2001

Visita a la estación (11:00 y 11:30 *GMT*). El *TCBR* nº 1 ($z = 1.4$ m) llevaba algunas fechas haciendo el tonto pero aparentemente está bien, sin roturas ni suciedad. No obstante, se han cambiado los termopares. Limpieza del pluviómetro. Recambio de cúpulas y gel de sílice del radiómetro neto. El tanque de agua dulce, tiene capa de hielo (ambos tanques, poco agua). Todo lo demás, correcto.

23 noviembre 2001

Olga PC visita la estación. Cambia el *TCBR* nº 2, que estaba totalmente roto. Pone uno nuevo.

ANEJO 2

LISTADO DEL PROGRAMA GALLOCA1

Listado del programa *GALLOCA1* que opera desde el 5 de abril de 2001 (10:30 GMT).

```
; {CR10X}
; GALLOCA1
; Programa para la estación meteorológica automática estándar de Gallocanta (Zaragoza).
; Se incluyen estos sensores: 1 sonda Vaisala de T/HR, 1 radiómetro neto Q-7, 1 piranómetro SP-Lite,
; 1 monitor de viento RMYoung O5103, 2 placas de flujo en el suelo HFP01, 2 evaporímetros, 1 sonda
; TCAV y 1 pluviómetro ARG100. Hay un módem Wavecom conectado para la captación de datos
; usando telefonía móvil GSM. El módem Wavecom se activa de 7:15 a 14:15 y de 0:00 a 0:30 GMT.
; VERSIÓN DE MAYO DE 2000. Respecto a la versión anterior se ha añadido la sonda TCAV y el
; piranómetro SP-Lite se conecta en modo terminal único (single ended).
; Escrito por el Dr. Antonio Martínez-Cob (EEAD-CSIC, Zaragoza)
```

*Table 1 Program

01: 10 Execution Interval (seconds)

```
; SONDA DE T/HR VAISALA 50Y (con CR10WP): temperatura (°C) y humedad relativa (%) del aire
; Conexiones: Amarillo, 1H - Verde, 1L - Rojo, switched 12V - Azul, AG
; Screen, G - Puente, C1 a switched 12V ctrl
; La sonda de T/HR se enciende
```

1: Do (P86)

1: 41 Set Port 1 High

2: Excitation with Delay (P22)

1: 1 Ex Channel

2: 0 Delay W/Ex (units = 0.01 sec)

3: 10 Delay After Ex (units = 0.01 sec)

4: 0 mV Excitation

```
; Se lee la temperatura del aire
```

3: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps

2: 35 2500 mV 50 Hz Rejection Range

3: 1 SE Channel

4: 1 Loc [AirTemp]

5: 0.1 Mult

6: -40 Offset

```
; Se calcula la presión de vapor a saturation (kPa)
```

4: Saturation Vapor Pressure (P56)

1: 1 Temperature Loc [AirTemp]

2: 5 Loc [DeficitPV]

```
; Se lee la humedad relativa del aire
```

5: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps

2: 35 2500 mV 50 Hz Rejection Range

3: 2 SE Channel

4: 2 Loc [RelHum]

5: .1 Mult

6: 0 Offset

; La sonda de *T/RH* se apaga

6: Do (P86)

1: 51 Set Port 1 Low

; Si la lectura de la humedad relativa es > 100 %, se hace igual a 100 %

7: Z=X (P31)

1: 2 X Loc [RelHum]

2: 3 Z Loc [RelHum100]

8: If (X<=>F) (P89)

1: 3 X Loc [RelHum100]

2: 3 >=

3: 100 F

4: 1 Call Subroutine 1

; Se calcula la presión de vapor real (kPa)

9: Z=X*Y (P36)

1: 3 X Loc [RelHum100]

2: 5 Y Loc [DeficitPV]

3: 4 Z Loc [PresVap]

10: Z=X*F (P37)

1: 4 X Loc [PresVap]

2: .01 F

3: 4 Z Loc [PresVap]

; Se calcula el déficit de presión de vapor (kPa)

11: Z=X-Y (P35)

1: 5 X Loc [DeficitPV]

2: 4 Y Loc [PresVap]

3: 5 Z Loc [DeficitPV]

; PIRANÓMETRO *SP-LITE*: radiación solar global incidente (W/m2)

; Conexiones: Blanco, 3L - Verde, AG - Screen, G

12: Volt (Diff) (P2)

1: 1 Reps

2: 3 25 mV Slow Range

3: 6 SE Channel

4: 8 Loc [SolarRad]

5: 100 Mult

6: 0.0 Offset

; MONITOR DE VIENTO *RM YOUNG 05103*: velocidad (m/s) y dirección (°) del viento

; Conexiones: Verde, 3H - Azul, E1 - Rojo, P1 - Blanco, AG - Negro, G

; Claro, G

13: Excite-Delay (SE) (P4)

1: 1 Reps

2: 5 2500 mV Slow Range

3: 5 SE Channel

4: 1 Excite all reps w/Exchan 1

5: 2 Delay (units 0.01 sec)

6: 2500 mV Excitation

7: 11 Loc [WindDir]

8: .142 Mult

9: 0 Offset

14: Pulse (P3)

1: 1 Reps

2: 1 Pulse Input Channel
 3: 21 Low Level AC, Output Hz
 4: 10 Loc [WindSpeed]
 5: .098 Mult
 6: 0 Offset

; RADIÓMETRO NETO Q-7 (corrección dinámica por velocidad de viento): radiación neta (W/m²)

; Conexiones: Rojo, 4H - Negro, 4L - Screen, G - Puente, 4L a AG

15: Volt (Diff) (P2)

1: 1 Reps
 2: 4 250 mV Slow Range
 3: 4 DIFF Channel
 4: 18 Loc [Q7_mV]
 5: 1.0 Mult
 6: 0.0 Offset

; Si los valores registrados de radiación neta son positivos, entonces

16: If (X<=>F) (P89)

1: 18 X Loc [Q7_mV]
 2: 3 >=
 3: 0 F
 4: 2 Call Subroutine 2

; Si los valores registrados de radiación neta son negativos, entonces

17: If (X<=>F) (P89)

1: 18 X Loc [Q7_mV]
 2: 4 <
 3: 0 F
 4: 3 Call Subroutine 3

; PLACA HPF01 NÚMERO 1: flujo de calor en el suelo (W/m²). Número de serie: 00091

; Conexiones: Blanco, 5H - Verde, AG; Screen, G

18: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 3 25 mV Slow Range
 3: 9 SE Channel
 4: 6 Loc [SHFFlux1]
 5: 14.771 Mult
 6: 0.0 Offset

; PLACA HPF01 NÚMERO 2: flujo de calor en el suelo (W/m²). Número de serie: 00089

; Conexiones: Blanco, 5L - Verde, AG; Screen, G

19: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps
 2: 3 25 mV Slow Range
 3: 10 SE Channel
 4: 7 Loc [SHFlux2]
 5: 14.620 Mult
 6: 0.0 Offset

; NOVALYNX modelo 255-100: evaporímetro #1 (altura de agua salada, mm)

; Blanco, 6H - Rojo, E2 - Negro, AG - Screen, G

20: Excite-Delay (SE) (P4)

1: 1 Reps
 2: 5 2500 mV Slow Range
 3: 11 SE Channel
 4: 2 Excite all reps w/Exchan 2
 5: 2 Delay (units 0.01 sec)

6: 2500 mV Excitation
 7: 12 Loc [WaterPan1]
 8: 0.096 Mult
 9: 36 Offset

; NOVALYNX modelo 255-100: evaporímetro #2 (altura de agua dulce, mm)

; Blanco, 6L - Rojo, E3 - Negro, AG - Screen, G

21: Excite-Delay (SE) (P4)

1: 1 Reps
 2: 5 2500 mV Slow Range
 3: 12 SE Channel
 4: 3 Excite all reps w/Exchan 3
 5: 2 Delay (units 0.01 sec)
 6: 2500 mV Excitation
 7: 13 Loc [WaterPan2]
 8: 0.096 Mult
 9: 36 Offset

; TERMISTOR DE REFERENCIA 10TCRT: temperatura de referencia (°C)

; Conexiones: Rojo, 2L - Blanco, AG - Negro, E2

22: AC Half Bridge (P5)

1: 1 Reps
 2: 32 7.5 mV 50 Hz Rejection Range
 3: 4 SE Channel
 4: 2 Excite all reps w/Exchan 2
 5: 2000 mV Excitation
 6: 17 Loc [RefTemp]
 7: 800 Mult
 8: 0.0000 Offset

23: Polynomial (P55)

1: 1 Reps
 2: 17 X Loc [RefTemp]
 3: 17 F(X) Loc [RefTemp]
 4: -53.46 C0
 5: 90.807 C1
 6: -83.257 C2
 7: 52.283 C3
 8: -16.723 C4
 9: 2.211 C5

; SONDA TCAV: temperatura promedio de suelo (°C)

; Conexiones: Morado, 2H - Rojo, 2L - Claro, G

24: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1: 1 Reps
 2: 2 7.5 mV Slow Range
 3: 2 DIFF Channel
 4: 2 Type E (Chromel-Constantan)
 5: 17 Ref Temp (Deg. C) Loc [RefTemp]
 6: 15 Loc [TSoilTCAV]
 7: 1.0 Mult
 8: 0.0 Offset

; PLUVIÓMETRO ARG100: precipitación (mm)

; Conexiones: Negro, P2 - Claro, G - Amarillo, G

25: Pulse (P3)

1: 1 Reps
 2: 2 Pulse Channel 2

3: 2 Switch Closure, All Counts
4: 14 Loc [Precip]
5: .202 Mult
6: 0.0 Offset

; TENSION DE LA BATERÍA

26: Batt Voltage (P10)
1: 16 Loc [Battery]

; OUTPUT CADA 30 MINUTOS

27: If time is (P92)
1: 0 Minutes (Seconds --) into a
2: 30 Interval (same units as above)
3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

; Número de identificación de los registros cada 30 -minutos

28: Set Active Storage Area (P80)
1: 1 Final Storage Area 1
2: 170 Array ID

29: Real Time (P77)
1: 1220 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

; Precipitación total, mm

30: Totalize (P72)
1: 1 Reps
2: 14 Loc [Precip]

; Promedios de temperatura del aire en °C (sonda *Vaisala*), humedad relativa del aire en % (valores
originales y limitados a 100 %), presión de vapor real y déficit de presión en kPa, flujo de calor en
suelo (placas 1 y 2) en W/m², y radiación solar y neta en W/m²

31: Average (P71)
1: 9 Reps
2: 1 Loc [AirTemp]

; Vector de viento: velocidad horizontal media (m/s) y dirección media (°) de viento

32: Wind Vector (P69)
1: 1 Reps
2: 3 Samples per Sub-Interval
3: 1 S, é1 Polar
4: 10 Wind Speed/East Loc [WindSpeed]
5: 11 Wind Direction/North Loc [WindDir]

33: Resolution (P78)
1: 1 High Resolution

; Altura de agua promedio en ambos evaporímetros

34: Average (P71)
1: 2 Reps
2: 12 Loc [WaterPan1]

35: Resolution (P78)
1: 0 Low Resolution

; Temperatura promedio de suelo (TCAV), °C

36: Average (P71)
1: 1 Reps
2: 15 Loc [TSoilTCAV]

; OUTPUT DIARIO

37: If time is (P92)

- 1: 0 Minutes (Seconds --) into a
- 2: 1440 Interval (same units as above)
- 3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

; Número de identificación de los registros cada 24 horas

38: Set Active Storage Area (P80)

- 1: 1 Final Storage Area 1
- 2: 270 Array ID

39: Real Time (P77)

- 1: 1220 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

; Precipitación total diaria, mm/día

40: Totalize (P72)

- 1: 1 Reps
- 2: 14 Loc [Precip]

; Media, máxima y mínima de la temperatura del aire (sonda *Vaisala*)

41: Average (P71)

- 1: 1 Reps
- 2: 1 Loc [AirTemp]

42: Maximum (P73)

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Value with Hr-Min
- 3: 1 Loc [AirTemp]

43: Minimum (P74)

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Value with Hr-Min
- 3: 1 Loc [AirTemp]

; Media, máxima y mínima de humedad relativa del aire (valores limitados a 100 %)

44: Average (P71)

- 1: 1 Reps
- 2: 3 Loc [RelHum100]

45: Maximum (P73)

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Value with Hr-Min
- 3: 3 Loc [RelHum100]

46: Minimum (P74)

- 1: 1 Reps
- 2: 10 Value with Hr-Min
- 3: 3 Loc [RelHum100]

; Medias de la presión de vapor real y el déficit de presión de vapor

47: Average (P71)

- 1: 2 Reps
- 2: 4 Loc [PresVap]

; Media y máxima del flujo de calor en el suelo (placa #1)

48: Average (P71)

- 1: 1 Reps

2: 6 Loc [SHFFlux1]

49: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 6 Loc [SHFFlux1]

; Media y máxima del flujo de calor en el suelo (placa #2)

50: Average (P71)

1: 1 Reps

2: 7 Loc [SHFFlux2]

51: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 7 Loc [SHFFlux2]

; Radiación solar global incidente media y máxima

52: Average (P71)

1: 1 Reps

2: 8 Loc [SolarRad]

53: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 8 Loc [SolarRad]

; Radiación neta media y máxima

54: Average (P71)

1: 1 Reps

2: 9 Loc [NetRad]

55: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 9 Loc [NetRad]

; Velocidad máxima de viento (m/s)

56: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 10 Loc [WindSpeed]

; Vector del viento: velocidad horizontal y dirección medias del viento

57: Wind Vector (P69)

1: 1 Reps

2: 3 Samples per Sub-Interval

3: 1 S, é1 Polar

4: 10 Wind Speed/East Loc [WindSpeed]

5: 11 Wind Direction/North Loc [WindDir]

; Histograma de la dirección del viento

58: Histogram (P75)

1: 1 Reps

2: 15 No. of Bins

3: 1 Closed Form

4: 11 Bin Select Value Loc [WindDir]

5: 0 Frequency Distribution

6: 11.25 Low Limit
7: 348.75 High Limit

; Tensión de la batería a las 24:00 GMT

59: Sample (P70)

1: 1 Reps
2: 16 Loc [Battery]

; Temperatura promedio de suelo (TCAV), °C

60: Average (P71)

1: 1 Reps
2: 15 Loc [TSoilTCAV]

; El módem *Wavecom* se conecta a un módulo *PSW12*: Blanco, 12 V - Marrón, G

; Conexiones del módulo *PSW12*: Rojo, 12 V - Negro, G - Amarillo, C2

; El módem *Wavecom* se enciende cada 24 horas a las 7:15 GMT

61: If time is (P92)

1: 435 Minutes (Seconds --) into a
2: 1440 Interval (same units as above)
3: 42 Set Port 2 High

; Después de 7 horas, el módem *Wavecom* se apaga

62: If time is (P92)

1: 855 Minutes (Seconds --) into a
2: 1440 Interval (same units as above)
3: 52 Set Port 2 Low

; El módem *Wavecom* se enciende cada 24 horas a las 0:00 GMT

63: If time is (P92)

1: 0 Minutes (Seconds --) into a
2: 1440 Interval (same units as above)
3: 42 Set Port 2 High

; Después de media hora, el módem *Wavecom* se apaga

64: If time is (P92)

1: 30 Minutes (Seconds --) into a
2: 1440 Interval (same units as above)
3: 52 Set Port 2 Low

*Table 2 Program

02: 0 Execution Interval (seconds)

*Table 3 Subroutines

; Subrutina 1: la humedad relativa se hace igual a 100 si es mayor de 100 %

1: Beginning of Subroutine (P85)

1: 1 Subroutine 1

2: Z=F (P30)

1: 100 F
2: 0 Exponent of 10
3: 3 Z Loc [RelHum100]

3: End (P95)

; Subrutina 2: factor de corrección para radiación neta positiva

4: Beginning of Subroutine (P85)

1: 2 Subroutine 2

```

; 0.2 * u
5: Z=X*F (P37)
1: 10      X Loc [ WindSpeed ]
2: .2      F
3: 19      Z Loc [ CorrectQ7 ]

; 0.066 + 0.2 * u
6: Z=X+F (P34)
1: 19      X Loc [ CorrectQ7 ]
2: .066    F
3: 20      Z Loc [ DivisorQ7 ]

; 0.066 * 0.2 * u
7: Z=X*F (P37)
1: 19      X Loc [ CorrectQ7 ]
2: .066    F
3: 19      Z Loc [ CorrectQ7 ]

; (0.066 * 0.2 * u) / (0.066 + 0.2 * u)
8: Z=X/Y (P38)
1: 19      X Loc [ CorrectQ7 ]
2: 20      Y Loc [ DivisorQ7 ]
3: 19      Z Loc [ CorrectQ7 ]

; 1 + (0.066 * 0.2 * u) / (0.066 + 0.2 * u)
9: Z=Z+1 (P32)
1: 19      Z Loc [ CorrectQ7 ]

; Factor de calibración para radiación neta positiva
10: Z=X*F (P37)
1: 18      X Loc [ Q7_mV ]
2: 9.08    F
3: 9       Z Loc [ NetRad ]

; Finalmente, se aplica el factor de corrección por el viento y se obtiene la radiación neta (W/m2)
11: Z=X*Y (P36)
1: 9       X Loc [ NetRad ]
2: 19      Y Loc [ CorrectQ7 ]
3: 9       Z Loc [ NetRad ]

12: End (P95)

; Subrutina 3: factor de corrección para radiación neta negativa
13: Beginning of Subroutine (P85)
1: 3       Subroutine 3

; 0.00174 * u
14: Z=X*F (P37)
1: 10      X Loc [ WindSpeed ]
2: .00174  F
3: 19      Z Loc [ CorrectQ7 ]

; 0.00174 * u + 0.99755
15: Z=X+F (P34)
1: 19      X Loc [ CorrectQ7 ]
2: .99755  F
3: 19      Z Loc [ CorrectQ7 ]

```

; Factor de calibración para radiación neta negativa

16: Z=X*F (P37)

1: 18 X Loc [Q7_mV]

2: 11.18 F

3: 9 Z Loc [NetRad]

; Finalmente, se aplica el factor de corrección por el viento y se obtiene la radiación neta (W/m2)

17: Z=X*Y (P36)

1: 9 X Loc [NetRad]

2: 19 Y Loc [CorrectQ7]

3: 9 Z Loc [NetRad]

18: End (P95)

End Program

ANEJO 3

LISTA DE FICHEROS EN FORMATO ASCII REGISTRADOS EN EL EQUIPO ACUMULADOR DE DATOS GALLOCA1

Lista de los ficheros en formato *ASCII* (separados por comas) que contienen los datos registrados en el equipo acumulador de datos *GALLOCA1* y que se suministran en el *CD-ROM* adjunto a este informe.

Fichero ASCII	Período
Gal1-001.DAT	15 feb (17:00) a 1 mar (7:30) de 2000
Gal1-002.DAT	1 mar (8:00) a 3 mar (7:30) de 2000
Gal1-003.DAT	3 mar (8:00) a 6 mar (7:30) de 2000
Gal1-004.DAT	6 mar (8:00) a 10 may (10:30) de 2000
Gal1-005.DAT	10 may (11:00) a 12 may (6:30) de 2000
Gal1-006.DAT	12 may (7:00) a 31 may (11:30) de 2000
Gal1-007.DAT	31 may (12:00) a 8 jun (9:00) de 2000
Gal1-008.DAT	8 jun (9:30) a 17 jul (19:30) de 2000
Gal1-009.DAT	17 jul (20:00) a 26 jul (7:30) de 2000
Gal1-010.DAT	26 jul (8:00) a 7 ago (7:30) de 2000
Gal1-011.DAT	7 ago (8:00) a 5 sep (20:00) de 2000
Gal1-012.DAT	5 sep (20:30) a 25 sep (8:00) de 2000
Gal1-013.DAT	25 sep (8:30) a 30 oct (24:00) de 2000
Gal1-014.DAT	31 oct (0:30) a 27 nov (20:00) de 2000
Gal1-015.DAT	27 nov (20:30) a 31 dic (24:00) de 2000
Gal1-016.DAT	1 ene (0:30) a 31 ene (24:00) de 2001
Gal1-017.DAT	1 feb (0:30) a 28 feb (24:00) de 2001
Gal1-018.DAT	1 mar (0:30) a 20 mar (10:30) de 2001
Gal1-019.DAT	20 mar (10:40) a 5 abr (10:10) de 2001
Gal1-020.DAT	5 abr (10:30) a 30 abr (24:00) de 2001
Gal1-021.DAT	1 may (0:30) a 31 may (24:00) de 2001
Gal1-022.DAT	1 jun (0:30) a 30 jun (24:00) de 2001
Gal1-023.DAT	1 jul (0:30) a 31 jul (24:00) de 2001
Gal1-024.DAT	1 ago (1:00) a 13 ago (0:30) de 2001
Gal1-025.DAT	13 ago (1:00) a 2 sep (24:00) de 2001
Gal1-026.DAT	3 sep (0:30) a 30 sep (24:00) de 2001
Gal1-027.DAT	1 oct (0:30) a 31 oct (24:00) de 2001
Gal1-028.DAT	1 nov (0:30) a 19 nov (24:00) de 2001
Gal1-029.DAT	20 nov (0:30) a 3 dic (24:00) de 2001

ANEJO 4

LISTADO DEL PROGRAMA GALLOCA2

Listado del programa *GALLOCA2* (versión 1.3.1.b; véase el Anejo 5) actualmente operativo. La diferencia con la versión 1.3.1.a es que las desviaciones estándar de la temperatura del aire de alta frecuencia se registran cada 30 minutos en vez de cada 10 minutos.

```
;{CR10X}
; GALLOCA2
; Programa para la estación de renovación de la superficie de Gallocanta (Zaragoza).
; Sensores: 2 TCBR termopares. Se calculan las diferencias de temperatura entre las
; lecturas i e i-4 y entre las lecturas i e i-2. Como output, se obtienen las sumas
; de las potencias 2, 3 y 5 powers de esas diferencias.
; Versión de ABRIL DE 2001. Se añade el registro de la desviación estándar de la
; temperatura del aire (termopares TCBR) cada 30 minutos
; El módem Wavecom se enciende de 7:15 a 12:15 y de 0:00 a 1:00 GMT.
; Escrito por el Dr. Antonio Martínez-Cob (EEAD-CSIC, Zaragoza)
```

*Table 1 Program

01: 0.1875 Execution Interval (seconds)

; Temperatura de referencia (del panel)

1: Internal Temperature (P17)

1: 30 Loc [TempRef]

; TERMOPARES TCBR (números 1 y 2): temperatura del aire de frecuencia rápida

; Conexiones. Número 1: morado 2H; rojo, 2L. Número 2: morado, 3H; rojo, 3L

2: Thermocouple Temp (DIFF) (P14)

1: 2 Reps

2: 1 2.5 mV Slow Range

3: 2 DIFF Channel

4: 2 Type E (Chromel-Constantan)

5: 30 Ref Temp (Deg. C) Loc [TempRef]

6: 1 Loc [TempTCBR1]

7: 1 Mult

8: 0 Offset

; TCBR #1: las lecturas se almacenan también en la "location" 19

3: Z=X (P31)

1: 1 X Loc [TempTCBR1]

2: 19 Z Loc [TCBR1i]

; TBCR #1: diferencias de temperatura entre las lecturas i e i-4

4: Z=X-Y (P35)

1: 19 X Loc [TCBR1i]

2: 15 Y Loc [TCBR1i4]

3: 20 Z Loc [TCBR1Dif4]

; TBCR #1: diferencias de temperatura entre las lecturas i e i-2

5: Z=X-Y (P35)

1: 19 X Loc [TCBR1i]

2: 17 Y Loc [TCBR1i2]

3: 21 Z Loc [TCBR1Dif2]

; TCBR #1: lecturas consecutivas (i a i-3) se trasladan a 4 "locations" consecutivas

6: Block Move (P54)

- 1: 4 No. of Values
- 2: 16 First Source Loc [TCBR1i3]
- 3: 1 Source Step
- 4: 15 First Destination Loc [TCBR1i4]
- 5: 1 Destination Step

; TCBR #1: potencias 2, 3 y 5 de las diferencias entre lecturas i e i-4

7: $Z=X*Y$ (P36)

- 1: 20 X Loc [TCBR1Dif4]
- 2: 20 Y Loc [TCBR1Dif4]
- 3: 3 Z Loc [TCBR1D4_2]

8: $Z=X*Y$ (P36)

- 1: 20 X Loc [TCBR1Dif4]
- 2: 3 Y Loc [TCBR1D4_2]
- 3: 4 Z Loc [TCBR1D4_3]

9: $Z=X*Y$ (P36)

- 1: 3 X Loc [TCBR1D4_2]
- 2: 4 Y Loc [TCBR1D4_3]
- 3: 5 Z Loc [TCBR1D4_5]

; TCBR #1: potencias 2, 3 y 5 de las diferencias entre lecturas i e i-2

10: $Z=X*Y$ (P36)

- 1: 21 X Loc [TCBR1Dif2]
- 2: 21 Y Loc [TCBR1Dif2]
- 3: 6 Z Loc [TCBR1D2_2]

11: $Z=X*Y$ (P36)

- 1: 21 X Loc [TCBR1Dif2]
- 2: 6 Y Loc [TCBR1D2_2]
- 3: 7 Z Loc [TCBR1D2_3]

12: $Z=X*Y$ (P36)

- 1: 6 X Loc [TCBR1D2_2]
- 2: 7 Y Loc [TCBR1D2_3]
- 3: 8 Z Loc [TCBR1D2_5]

; TCBR #2: las lecturas se almacenan también en la "location" 26

13: $Z=X$ (P31)

- 1: 2 X Loc [TempTCBR2]
- 2: 26 Z Loc [TCBR2i]

; TBCR #2: diferencias de temperatura entre las lecturas i e i-4

14: $Z=X-Y$ (P35)

- 1: 26 X Loc [TCBR2i]
- 2: 22 Y Loc [TCBR2i4]
- 3: 27 Z Loc [TCBR2Dif4]

; TBCR #2: diferencias de temperatura entre las lecturas i e i-2

15: $Z=X-Y$ (P35)

- 1: 26 X Loc [TCBR2i]
- 2: 24 Y Loc [TCBR2i2]
- 3: 28 Z Loc [TCBR2Dif2]

; TCBR #2: lecturas consecutivas (i a i-3) se trasladan a 4 "locations" consecutivas

16: Block Move (P54)

- 1: 4 No. of Values
- 2: 23 First Source Loc [TCBR2i3]
- 3: 1 Source Step
- 4: 22 First Destination Loc [TCBR2i4]
- 5: 1 Destination Step

; TCBR #2: potencias 2, 3 y 5 de las diferencias entre lecturas i e i-4

17: Z=X*Y (P36)

- 1: 27 X Loc [TCBR2Dif4]
- 2: 27 Y Loc [TCBR2Dif4]
- 3: 9 Z Loc [TCBR2D4_2]

18: Z=X*Y (P36)

- 1: 27 X Loc [TCBR2Dif4]
- 2: 9 Y Loc [TCBR2D4_2]
- 3: 10 Z Loc [TCBR2D4_3]

19: Z=X*Y (P36)

- 1: 9 X Loc [TCBR2D4_2]
- 2: 10 Y Loc [TCBR2D4_3]
- 3: 11 Z Loc [TCBR2D4_5]

; TCBR #2: potencias 2, 3 y 5 de las diferencias entre lecturas i e i-2

20: Z=X*Y (P36)

- 1: 28 X Loc [TCBR2Dif2]
- 2: 28 Y Loc [TCBR2Dif2]
- 3: 12 Z Loc [TCBR2D2_2]

21: Z=X*Y (P36)

- 1: 28 X Loc [TCBR2Dif2]
- 2: 12 Y Loc [TCBR2D2_2]
- 3: 13 Z Loc [TCBR2D2_3]

22: Z=X*Y (P36)

- 1: 12 X Loc [TCBR2D2_2]
- 2: 13 Y Loc [TCBR2D2_3]
- 3: 14 Z Loc [TCBR2D2_5]

; TENSIÓN DE LA BATERÍA

23: Batt Voltage (P10)

- 1: 31 Loc [Battery]

; OUTPUT DE 30 MINUTOS

24: If time is (P92)

- 1: 0 Minutes (Seconds --) into a
- 2: 30 Interval (same units as above)
- 3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

; Número de identificación para los registros de 30 minutos

25: Set Active Storage Area (P80)

- 1: 1 Final Storage Area 1
- 2: 180 Array ID

26: Real Time (P77)

- 1: 1220 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

27: Resolution (P78)

1: 1 High Resolution

; Promedios de ambos termopares TCBR

28: Average (P71)

1: 2 Reps

2: 1 Loc [TempTCBR1]

; Desviación estándar de la temperatura (termopares TCBR)

29: Standard Deviation (P82)

1: 2 Reps

2: 1 Sample Loc [TempTCBR1]

; Suma de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias (i e i-4, i e i-2) de
temperatura registradas con cada termopar TCBR

30: Totalize (P72)

1: 12 Reps

2: 3 Loc [TCBR1D4_2]

31: Resolution (P78)

1: 0 Low Resolution

; OUTPUT DIARIO

32: If time is (P92)

1: 0 Minutes (Seconds --) into a

2: 1440 Interval (same units as above)

3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

; Número de identificación para registros cada 24 horas

33: Set Active Storage Area (P80)

1: 1 Final Storage Area 1

2: 280 Array ID

34: Real Time (P77)

1: 1220 Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

; Media, máxima y mínima del termopar TCBR #1

35: Average (P71)

1: 1 Reps

2: 1 Loc [TempTCBR1]

36: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 1 Loc [TempTCBR1]

37: Minimum (P74)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 1 Loc [TempTCBR1]

; Media, máxima y mínima del termopar TCBR #2

38: Average (P71)

1: 1 Reps

2: 2 Loc [TempTCBR2]

39: Maximum (P73)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 2 Loc [TempTCBR2]

40: Minimum (P74)

1: 1 Reps

2: 10 Value with Hr-Min

3: 2 Loc [TempTCBR2]

; Tensión de la batería

41: Sample (P70)

1: 1 Reps

2: 31 Loc [Battery]

; Conexiones del módem Wavecom: Blanco, 12V switched - Marrón, G

; Puente, C1 a 12V switched ctrl

; El módem Wavecom se enciende a las 7:15 GMT

42: If time is (P92)

1: 435 Minutes (Seconds --) into a

2: 1440 Interval (same units as above)

3: 41 Set Port 1 High

; Después de 5 horas, el módem Wavecom se apaga

43: If time is (P92)

1: 735 Minutes (Seconds --) into a

2: 1440 Interval (same units as above)

3: 51 Set Port 1 Low

; El módem Wavecom se enciende a las 0:00 GMT

44: If time is (P92)

1: 0 Minutes (Seconds --) into a

2: 1440 Interval (same units as above)

3: 41 Set Port 1 High

; Después de 1 hora, el módem Wavecom se apaga

45: If time is (P92)

1: 60 Minutes (Seconds --) into a ;

2: 1440 Interval (same units as above)

3: 51 Set Port 1 Low

*Table 2 Program

02: 0 Execution Interval (seconds)

*Table 3 Subroutines

End Program

ANEJO 5

HISTORIAL DE VERSIONES DEL PROGRAMA GALLOCA2

Este programa se utiliza normalmente cuando en el acumulador de datos *GALLOCA2* sólo se registran datos de temperatura de alta frecuencia. Actualmente, se utiliza la versión 1.3.1.b (véase el Anejo 4). En los períodos en que se conecta un equipo de covarianza de torbellinos al acumulador de datos *GALLOCA2*, se utiliza el programa *EDYGALLO* (Anejo 6).

GALLOCA2 versión 1.01

- ◆ Operativa desde el 15 de febrero (18:30 *GMT*) al 1 de marzo (7:30 *GMT*) de 2000.
- ◆ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
 - ✓ 1 sonda *TCAV* de temperatura promedio de suelo.
- ◆ Intervalo de lectura de los sensores: 0.25 s.
 - ✓ La sonda *TCAV* se leyó y procesó con la Tabla 1. Los termopares *TCBR* se leyeron y procesaron con la Tabla 2.
- ◆ Todos los registros se generaron en la Tabla 1.
- ◆ Dos tipos de registros: a) 30 minutos (código 180); b) 24 horas (código 280).
- ◆ Esta versión tenía algunos errores que se fueron depurando en versiones posteriores.

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 19 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Medias de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos i e $i+3$ y entre las lecturas en los momentos i e $i+1$. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 16 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.

- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

GALLOCA2 versión 1.02

- ◆ Operativa desde el 1 (8:00 *GMT*) al 3 de marzo (7:30 *GMT*) de 2000.
- ◆ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
 - ✓ 1 sonda *TCAV* (temperatura promedio de suelo).
- ◆ Intervalo de lectura de los sensores: 0.25 s.
 - ✓ La sonda *TCAV* se leyó y procesó con la Tabla 1. Los termopares *TCBR* se leyeron y procesaron con la Tabla 2.
- ◆ Todos los registros se generaron en la Tabla 1.
- ◆ Dos tipos de registros: a) 30 minutos (código 180); b) 24 horas (código 280).
- ◆ Esta versión depuró algún error de la versión 1.01 pero seguía teniendo algunos errores que se fueron depurando en versiones posteriores.

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 19 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos i e $i+3$ y entre las lecturas en los momentos i e $i+1$. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 16 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.

- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

GALLOCA2 versión 1.03

- ◆ Operativa desde el 3 (8:00 *GMT*) al 6 de marzo (7:30 *GMT*) de 2000.
- ◆ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
 - ✓ 1 sonda *TCAV* (temperatura promedio de suelo).
- ◆ Intervalo de lectura de los sensores: 0.25 s.
 - ✓ La sonda *TCAV* se leyó y procesó con la Tabla 1. Los termopares *TCBR* se leyeron y procesaron con la Tabla 2.
- ◆ Todos los registros se generaron en la Tabla 1.
- ◆ Dos tipos de registro: a) 30 minutos (código 180); b) 24 horas (código 280).
- ◆ Esta versión depuró algunos errores de las versiones 1.01 y 1.02 pero aún tenía algunos errores que se depuraron en versiones posteriores.

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 19 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos *i* e *i-3* y entre las lecturas en los momentos *i* e *i-1*. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 16 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.

- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

GALLOCA2 versión 1.1

- ◆ Operativa desde el 6 de marzo (8:00 GMT) al 10 de mayo (10:00 GMT) de 2000.
- ◆ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
 - ✓ 1 sonda *TCAV* (temperatura promedio de suelo).
- ◆ Intervalo de lectura de los sensores: 0.25 s.
 - ✓ La sonda *TCAV* se leyó y procesó con la Tabla 1. Los termopares *TCBR* se leyeron y procesaron con la Tabla 2.
- ◆ Los registros de la sonda *TCAV* se originaron con la Tabla 1 y los de los termopares *TCBR* con la Tabla 2.
- ◆ Cuatro tipos de registros: a) 30 minutos (código 180); b) 30 minutos (código 380); c) 24 horas (código 280); d) 24 horas (código 480).
- ◆ Por fin, ya se han corregido todos los errores encontrados en las versiones 1.01, 1.02 y 1.03.
- ◆ Por ello, los datos para aplicar el método de renovación de la superficie registrados a partir de esta versión sí que se pueden considerar válidos. Los de las versiones anteriores (1.01, 1.02 y 1.03) pueden usarse quizás tan sólo para generar valores diarios de *LE* y *H*, o mejor aún valores totales de *LE* y *H* para el período 16 de febrero a 5 de marzo.

Datos de código 180 (sonda *TCAV*) (30 minutos)

En total, 5 valores por línea (período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.

Datos de código 380 (termopares *TCBR*) (30 minutos)

En total, 18 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos *i* e *i-3* y entre las lecturas en los momentos *i* e *i-1*. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (sonda *TCAV*) (24 horas)

En total, 6 valores por línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del suelo, °C.
- Tensión de la batería, volt.

Datos de código 480 (termopares *TCBR*) (24 horas)

En total, 14 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.

GALLOCA2 versión 1.2

- ♦ Operativa desde el 10 (10:30 GMT) al 31 de mayo (11:30 GMT) y desde el 8 de junio (9:30 GMT) al 17 de julio (11:30 GMT) de 2000.
- ♦ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
- ♦ Intervalo de lectura de los sensores: 0.25 s.
- ♦ Sólo se utiliza la Tabla 1 para leer y procesar los sensores y para generar los registros correspondientes.
- ♦ Dos tipos de registro: a) 30 minutos (código 180); b) 24 horas (código 280).

- ♦ El 11 de julio de 2000 (10:40 GMT) se modificó ligeramente esta versión: se cambió el período durante el cual el módem de telefonía móvil está activo.

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 18 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos *i* e *i-3* y entre las lecturas en los momentos *i* e *i-1*. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 15 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

GALLOCA2 versión 1.3

- ♦ Operativa el 17 de julio de 2000 (12:00 a 15:00 GMT) y desde el 4 de agosto de 2000 (11:00 GMT) hasta el 20 de marzo de 2001 (10:30 GMT).
- ♦ También operó en el acumulador de datos *GALLOCA3* que temporalmente se instaló con dos termopares *TCBR* conectados desde el 25 de julio (12:00 GMT) al 4 de agosto (10:30 GMT) de 2000.
- ♦ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
- ♦ Intervalo de lectura de los sensores: 0.1875 s.
- ♦ Sólo se utiliza la Tabla 1 para leer y procesar los sensores y para generar los registros correspondientes.
- ♦ Dos tipos de registro: a) 30 minutos (código 180); b) 24 horas (código 280).

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 18 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos *i* e *i-4* y entre las lecturas en los momentos *i* e *i-2*. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 15 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

GALLOCA2 versión 1.3.1.a

- ♦ Operativa el 20 de marzo (11:10 GMT) hasta el 5 de abril (10:00 GMT) de 2001.
- ♦ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
- ♦ Intervalo de lectura de los sensores: 0.1875 s.
- ♦ Sólo se utiliza la Tabla 1 para leer y procesar los sensores y para generar los registros correspondientes.
- ♦ Tres tipos de registro: a) 10 minutos (código 380); b) 30 minutos (código 180); c) 24 horas (código 280).

Datos de código 380 (10 minutos)

En total, 8 valores por línea (1 línea = 1 período de 10 minutos).

- Código de identificación.

- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Desviaciones estándar de la temperatura del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 18 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos i e $i-4$ y entre las lecturas en los momentos i e $i-2$. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 15 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

GALLOCA2 versión 1.3.1.b

- ◆ Operativa el 5 de abril (10:30 GMT) de 2001 hasta el presente.
- ◆ Sensores conectados:
 - ✓ 2 termopares *TCBR* de hilo fino (temperatura del aire de alta frecuencia).
- ◆ Intervalo de lectura de los sensores: 0.1875 s.
- ◆ Sólo se utiliza la Tabla 1 para leer y procesar los sensores y para generar los registros correspondientes.
- ◆ Dos tipos de registro: a) 30 minutos (código 180); b) 24 horas (código 280).

Datos de código 180 (30 minutos)

En total, 18 valores por línea (1 línea = 1 período semihorario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperatura media del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Desviaciones estándar de la temperatura del aire con los dos termopares *TCBR*, °C. 2 valores.
- Sumas de las potencias 2, 3 y 5 de las diferencias de temperatura entre las lecturas en los momentos i e $i-4$ y entre las lecturas en los momentos i e $i-2$. Primero las del termopar *TCBR* nº 1 y luego las del termopar *TCBR* nº 2. 12 valores (6 por termopar).

Datos de código 280 (24 horas)

En total, 15 valores por cada línea (1 línea = 1 período diario).

- Código de identificación.
- Año.
- Día.
- Hora.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 1, °C. 5 valores.
- Temperaturas media, máxima absoluta (con hora) y mínima absoluta (con hora) registradas con el termopar *TCBR* nº 2, °C. 5 valores.
- Tensión de la batería, volt.

ANEJO 6

LISTADO DE LOS FICHEROS ASCII REGISTRADOS EN EL ACUMULADOR DE DATOS GALLOCA2

Lista de los ficheros en formato ASCII (separados por comas) que contienen los datos registrados en el equipo acumulador de datos GALLOCA2 y que se suministran en el CD-ROM adjunto a este informe.

Fichero ASCII	Programa	Versión	Período
Gal2-001.DAT	Galloca2	1.01	15 feb (18:30) a 1 mar (7:30) de 2000
Gal2-002.DAT	Galloca2	1.02	1 mar (8:00) a 3 mar (7:30) de 2000
Gal2-003.DAT	Galloca2	1.03	3 mar (8:00) a 6 mar (7:30) de 2000
Gal2-004.DAT	Galloca2	1.1	6 mar (8:00) a 10 may (10:00) de 2000
Gal2-005.DAT	Galloca2	1.2	10 may (10:30) a 31 may (11:30) de 2000
Gal2-006.DAT	Edygallo	1.0	31 may (12:00) a 8 jun (9:00) de 2000
Gal2-007.DAT	Galloca2	1.2	8 jun (9:30) a 17 jul (11:30) de 2000
Gal2-008.DAT	Galloca2	1.3	17 jul (12:00) a 17 jul (15:00) de 2000
Gal2-009.DAT	Edygallo	1.1	17 jul (15:30) a 25 jul (10:10) de 2000
Gal2-010.DAT ⁽¹⁾	Edygallo	1.1	25 jul (10:20) a 4 ago (10:30) de 2000
Gal2-011.DAT ⁽²⁾	Galloca2	1.3	25 jul (12:00) a 4 ago (10:30) de 2000
Gal2-012.DAT	Galloca2	1.3	4 ago (11:00) a 7 sep (8:00) de 2000
Gal2-013.DAT	Galloca2	1.3	7 sep (8:30) a 25 sep (8:30) de 2000
Gal2-014.DAT	Galloca2	1.3	25 sep (9:30) a 30 oct (24:00) de 2000
Gal2-015.DAT	Galloca2	1.3	31 oct (0:30) a 27 nov (20:30) de 2000
Gal2-016.DAT	Galloca2	1.3	27 nov (20:30) a 31 dic (24:00) de 2000
Gal2-017.DAT	Galloca2	1.3	1 ene (0:30) a 31 ene (24:00) de 2001
Gal2-018.DAT	Galloca2	1.3	1 feb (0:30) a 26 feb (20:30) de 2001
Gal2-019.DAT	Galloca2	1.3	26 feb (21:00) a 6 mar (20:30) de 2001
Gal2-020.DAT	Galloca2	1.3	6 mar (21:00) a 20 mar (11:00) de 2001
Gal2-021.DAT	Galloca2	1.3.1.a	20 mar (11:10) a 5 abr (10:00) de 2001
Gal2-022.DAT	Galloca2	1.3.1.b	5 abr (10:30) a 6 abr (13:00) de 2001
Gal2-023.DAT	Galloca2	1.3.1.b	6 abr (13:30) a 30 abr (24:00) de 2001
Gal2-024.DAT	Galloca2	1.3.1.b	1 may (0:30) a 31 may (24:00) de 2001
Gal2-025.DAT	Galloca2	1.3.1.b	1 jun (0:30) a 30 jun (24:00) de 2001
Gal2-026.DAT	Galloca2	1.3.1.b	1 jul (0:30) a 19 jul (7:00) de 2001
Gal2-027.DAT	Galloca2	1.3.1.b	19 jul (7:30) a 23 jul (0:30) de 2001
Gal2-028.DAT	Galloca2	1.3.1.b	23 jul (1:00) a 13 ago (0:30) de 2001
Gal2-029.DAT	Galloca2	1.3.1.b	13 ago (1:00) a 4 sep (0:30) de 2001
Gal2-030.DAT	Galloca2	1.3.1.b	4 sep (1:00) a 30 sep (24:00) de 2001
Gal2-031.DAT	Galloca2	1.3.1.b	1 oct (0:30) a 31 oct (24:00) de 2001
Gal2-032.DAT	Galloca2	1.3.1.b	1 nov (0:30) a 12 nov (24:00) de 2001
Gal2-033.DAT	Galloca2	1.3.1.b	13 nov (0:30) a 7 dic (7:30) de 2001

⁽¹⁾ Datos registrados en el acumulador de datos GALLOCA2.

⁽²⁾ Datos registrados en el acumulador de datos adicional (GALLOCA3) que se instaló del 25 de julio al 2 de agosto de 2000.